

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

ARIANE HILGEMBERG SILVA

RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E A
CONCENTRAÇÃO DE CLORO RESIDUAL LIVRE EM UM SETOR DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM PONTA GROSSA - PR

PONTA GROSSA
2020

ARIANE HILGEMBERG SILVA

RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E A
CONCENTRAÇÃO DE CLORO RESIDUAL LIVRE EM UM SETOR DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM PONTA GROSSA - PR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual de Ponta Grossa, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Giovana Katie Wiecheteck

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Deyse Márcia Pacheco Gebert

PONTA GROSSA
2020

S586 Silva, Ariane Hilgemberg
Relação entre parâmetros de qualidade da água e a concentração de cloro residual livre em um setor de abastecimento de água em Ponta Grossa - PR / Ariane Hilgemberg Silva. Ponta Grossa, 2020.

71 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental - Área de Concentração: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Giovana Katie Wiecheteck.

Coorientadora: Profa. Dra. Deyse Márcia Pacheco Gebert.

1. Cloro residual livre. 2. Qualidade da água. 3. Rede distribuição de água. I. Wiecheteck, Giovana Katie. II. Gebert, Deyse Márcia Pacheco. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. IV.T.

CDD: 628.4

**CERTIFICADO - 01/2020 - PPGESA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
SANITÁRIA E AMBIENTAL**
Certificado nº 01/2020 PPGESA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Título da Dissertação: **“Relação entre parâmetros de qualidade da água e a concentração de cloro residual livre em um setor de abastecimento de água em Ponta Grossa - PR”**

Nome: **ARIANE HILGEMBERG SILVA**

Orientadora: **Prof^a. Dr^a. Giovana Kátie Wiecheteck**

Co-orientadora: **Prof^a. Dr^a. Deyse Márcia Pacheco Gebert**

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Giovana Kátie Wiecheteck
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG

Prof^a. Dr^a. Deyse Márcia Pacheco Gebert
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG

Prof^a. Dr^a. Maria Lyda Bolaños Rojas
Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Prof. Dr. Airton Kist
Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG

Ponta Grossa, 22 de junho de 2020



Documento assinado eletronicamente por **Giovana Katie Wiecheteck, Professor(a)**, em 24/06/2020, às 13:17, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Maria Lyda Bolanos Rojas, Usuário Externo**, em 27/06/2020, às 12:25, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

Documento assinado eletronicamente por **Deyse Marcia Pacheco Gebert, Professor(a)**, em 27/06/2020, às 14:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Airton Kist, Professor(a)**, em 30/06/2020, às 16:50, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **0237844** e o código CRC **E2F80D15**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelas bênçãos alcançadas e por guiar a minha caminhada.

Agradeço de forma especial e carinhosa meus pais, Eliane e José Reinoldo, e familiares, que me deram força e coragem para alcançar este objetivo.

Às professoras Dr^a. Giovana Katie Wiecheteck e Dr^a. Deyse Gebert por aceitarem me orientar, tornando possível a realização do presente trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual de Ponta Grossa, à coordenação e aos professores do curso.

Ao apoio concedido pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), pelo fornecimento de resultados que foram a base deste trabalho. Agradeço a todos os envolvidos pela colaboração na obtenção de informações e coleta de dados.

À Elaine, Engenheira da Sanepar, pela disponibilidade, ensinamentos e atenção que me concedeu durante o período da pesquisa.

À empresa Arena Participações Societárias Ltda pelo apoio e disponibilidade em todos os momentos necessários para elaboração deste trabalho.

A todos os meus amigos pelos momentos da vida que compartilhamos, pelos conselhos, conversas e festas.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desta dissertação.

*“Se o dinheiro for a sua esperança de independência, você jamais a terá.
A única segurança verdadeira consiste numa reserva de sabedoria, de
experiência e de competência.”*

(Henry Ford)

RESUMO

A qualidade da água, bem como a sua manutenção ao longo do sistema de distribuição é uma preocupação constante das entidades gestoras de saneamento básico. A desinfecção da água com cloro é um dos métodos mais utilizados no tratamento de água destinada ao abastecimento público, que apresenta como vantagem a manutenção de um residual. Porém, o cloro residual presente na água tratada reage ao longo do sistema de distribuição, conduzindo ao seu decaimento. O presente trabalho consistiu no estudo da relação entre parâmetros de qualidade da água com a concentração de cloro residual livre em diferentes pontos da rede de distribuição no setor de abastecimento Los Angeles, na cidade de Ponta Grossa – PR. Foram coletadas 7 amostras semanais em 7 pontos da rede de distribuição durante o período de outubro/2018 a setembro de 2019 e analisados os parâmetros de concentração de cloro residual livre, turbidez, cor aparente e presença ou ausência de coliformes totais. Os resultados demonstraram que os parâmetros de qualidade da água analisados nos pontos de coleta monitorados atendem a Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 28 de setembro de 2017. Foram realizadas análises de variâncias para os parâmetros cloro residual livre e turbidez. Os resultados mostraram que há uma redução na concentração de cloro residual livre proporcionalmente ao longo do sistema de distribuição a medida que os pontos se distanciam da estação de tratamento de água. Também mostram que há uma tendência de aumento na turbidez ao longo do sistema de distribuição em locais onde a rede é de ferro e com idade mais próxima a atingir sua vida útil.

Palavras-chave: cloro residual livre, qualidade da água, rede de distribuição de água.

ABSTRACT

Water quality, as well as its maintenance throughout the distribution system, is a constant concern of management entities. The disinfection of water with chlorine is one of the most used methods in the treatment of water destined for public supply, which has the advantage of maintaining a residual. However, the residual chlorine present in the treated water reacts throughout the distribution system, leading to its decay. The present work consisted of studying the relationship between water quality parameters and the concentration of free residual chlorine at different distribution network points, in the Los Angeles supply sector, held in the city of Ponta Grossa - PR, Brazil. Seven samples were collected weekly at seven distribution points during the period from October of 2018 to September of 2019 by analyzing the parameters of free residual chlorine concentration, turbidity, apparent color and the presence or absence of Total Coliforms. The results showed that the water quality parameters analyzed at the monitored collection points comply with Consolidation Ordinance nº 5 of the Ministry of Health of September 28, 2017. Variance analyzes were performed for the parameters free residual chlorine and turbidity. The results showed that there is a reduction in the concentration of free residual chlorine proportionally throughout the distribution system as the points move away from the water treatment plant. They also show that there is a tendency towards an increase in turbidity throughout the distribution system in places where the network is made of iron and is closer to reaching its useful life.

.

Keywords: free residual chlorine, water quality, water distribution network.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Sistema de abastecimento de água.....	17
Figura 2	– Localização de adutoras em um sistema de abastecimento de água.....	19
Figura 3	– Etapas de tratamento da água em uma ETA de tratamento convencional ou em ciclo completo.....	19
Figura 4	– Posições dos reservatórios em relação ao terreno.....	21
Figura 5	– Curva de desinfecção com cloro ao <i>breakpoint</i>	27
Figura 6	– Efeito do pH na quantidade relativa de HClO e OCl ⁻	28
Figura 7	– Reações do cloro nas paredes das tubulações.....	30
Figura 8	– Reações que contribuem para o decaimento do cloro residual..	31
Figura 9	– Mapa de diâmetros da rede de abastecimento de água do setor de abastecimento Los Angeles	40
Figura 10	– Localização da Estação de Tratamento de Água e do reservatório nº 01.....	42
Figura 11	– Localização do reservatório nº 02.....	42
Figura 12	– Localização do ponto de coleta 01.....	44
Figura 13	– Localização dos pontos de coleta 02 e 03.....	44
Figura 14	– Localização do ponto de coleta 04.....	45
Figura 15	– Localização do ponto de coleta 05.....	45
Figura 16	– Localização do ponto de coleta 06.....	46
Figura 17	– Localização do ponto de coleta 07.....	46
Figura 18	– Localização dos sete pontos analisados.....	47
Figura 19	– Concentrações de cloro residual livre nos pontos de coleta.....	50
Figura 20	– Valores de turbidez nos pontos de coleta.....	56
Figura 21	– Valores de turbidez e de concentração de cloro residual livre nos pontos de coleta.....	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Médias de concentrações de cloro residual livre nos pontos estudados.....	53
Gráfico 2	– Concentrações médias de cloro residual livre nos pontos x distâncias dos pontos à ETA.....	54
Gráfico 3	– Valores de turbidez da água bruta e média dos valores de turbidez da água tratada nos pontos estudados.....	58
Gráfico 4	– Valores de turbidez da água bruta e média dos valores de turbidez da água tratada	59
Gráfico 5	– Valores médios de turbidez dos pontos estudados x valores médios de concentrações de cloro residual livre em cada ponto	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Resumo dos dados coletados da concentração de cloro residual livre (mg.L ⁻¹).....	52
Tabela 2	– Resultado teste de Scott-Knott para o parâmetro cloro residual livre (mg.L ⁻¹).....	55
Tabela 3	– Resumo dos dados coletados de turbidez (NTU)	57
Tabela 4	– Resultado teste de Scott-Knott para o parâmetro turbidez.....	60
Tabela 5	– Resumo dos dados coletados de cor aparente (uH).....	64
Tabela 6	– Resultado teste de Scott-Knott para o parâmetro cor aparente (uH).....	65

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANAVA	Análise de Variância
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
ETA	Estação de Tratamento de Água
FD	Ferro Dúctil
FG	Ferro Galvanizado
GL	Grau de Liberdade
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVC	Policloreto de Vinila
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SQR	Soma de Quadrados do Resíduo
SQT	Soma de Quadrados dos Tratamentos
SQTot	Soma de Quadrados Totais
VMP	Valor Máximo Permitido
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3.	REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	17
3.2	DESINFECÇÃO DA ÁGUA.....	23
3.2.1	Processos físicos.....	23
3.2.2	Processos químicos.....	24
3.2.3	Desinfecção da água com cloro.....	25
3.2.4	Fatores que influenciam na eficácia da cloração.....	27
3.2.5	Decaimento de cloro em sistema de distribuição de água.....	29
3.3	TÉCNICAS ESTATÍSTICAS.....	32
3.3.1	Análise de variância.....	32
3.3.2	Análise de variância para tratamentos numéricos com regressão	35
3.3.3	Transformação de dados com método de Box-Cox.....	36
4	METODOLOGIA.....	39
4.1	PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	39
4.1.1	Setor estudado.....	39
4.1.2	Pontos de coleta de amostra de água.....	41
4.1.3	Métodos e equipamentos de medição.....	47
4.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	48
5	RESULTADOS DE DISCUSSÃO.....	49
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	49
5.2	RESULTADOS DE CONCENTRAÇÃO CLORO RESIDUAL LIVRE	49
5.2.1	Análise de variância para cloro residual livre.....	54
5.3	RESULTADOS DE TURBIDEZ.....	55
5.3.1	Análise de variância para turbidez.....	59
5.4	RELAÇÃO DOS PARÂMETROS CLORO E TURBIDEZ.....	60
5.5	RESULTADOS DE COR APARENTE.....	64
5.5.1	Análise de variância para cor.....	64

6	CONCLUSÃO.....	66
	REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural escasso e essencial à vida humana, com valores econômicos, estratégicos e sociais, cuja disponibilidade, em qualidade e em quantidade, exige a aplicação de elevados investimentos em infraestruturas para garantir o abastecimento eficaz à população (ALVES; PINTO, 2004). Nessa conjuntura, a gestão do abastecimento de água e a qualidade do serviço de distribuição tornam-se cada vez mais importantes.

As companhias de saneamento são responsáveis por suprir as demandas de água de uma localidade, considerando as necessidades e requisitos para consumo humano, atividades comerciais e industriais. Além da qualidade da água tratada, o sistema de distribuição e armazenamento de água deve servir a população de acordo com as vazões de consumo requeridas, as quais variam durante o dia, mês e ano (TSUTIYA, 2006).

Os sistemas de abastecimento de água têm por finalidade a prestação de serviço público fundamental para a saúde e bem-estar da população. Tal sistema é essencial no controle e na prevenção de doenças de veiculação hídrica, na promoção de hábitos higiênicos, contribuindo no aumento da expectativa de vida e na produtividade da população (SAMIR *et al.*, 2017).

Uma das principais etapas no tratamento de água é a desinfecção, que tem por objetivo a inativação dos microrganismos patogênicos remanescentes no tratamento. No Brasil, sob regime da Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), a desinfecção é obrigatória a todos os sistemas de fornecimento de água para abastecimento público, visando à proteção da saúde dos consumidores.

No Brasil o cloro é o desinfetante mais utilizado nas estações de tratamento de água devido ao fácil acesso, baixo custo, simplicidade de aplicação e capacidade de deixar residual livre em solução, conforme requerido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde, de no mínimo $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ (BRASIL, 2017).

O cloro tem sido utilizado comercialmente sob três formas, líquido, sólido ou gasoso. Em contato com a água, o cloro gasoso se hidrolisa rapidamente para formar os íons hidrogênio, cloreto e o íon hipoclorito. O ácido hipocloroso e o íon hipoclorito são os principais responsáveis pela oxidação da matéria orgânica indesejada e a soma de suas concentrações é conhecida como cloro residual livre, que varia com a temperatura e pH da água, sendo de importância vital na inibição do crescimento bacteriano (RODRIGUES; SCALIZE, 2019).

Por ser um elemento não conservativo, o cloro decai ao longo do tempo, sendo consumido devido às reações com substâncias orgânicas e inorgânicas presentes na água, reações com o biofilme formado nas tubulações e ao processo de corrosão, principalmente nas tubulações de ferro. Além disso, ao interagir com as substâncias presentes na água, o cloro pode produzir subprodutos cancerígenos, como os trihalometanos (SOARES *et al.*, 2016). Por isso é necessário conhecer o método de cloração, a fim de fornecer água de qualidade e em quantidade satisfatória à totalidade da população destinatária do serviço de abastecimento.

Em razão disso, a intenção do presente estudo foi avaliar a qualidade da água em diferentes locais da rede de distribuição de água na região que corresponde ao Setor de Abastecimento Los Angeles da cidade de Ponta Grossa. Foram analisados os valores de concentração de cloro residual livre, turbidez, cor aparente e presença ou ausência de coliformes totais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a relação entre parâmetros de qualidade da água com a concentração de cloro residual livre em diferentes pontos da rede de distribuição no setor de abastecimento Los Angeles, na cidade de Ponta Grossa – PR.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar as alterações nas concentrações de cloro residual livre, turbidez, cor e coliformes totais da água potável no sistema que abastece a região noroeste de Ponta Grossa (PR) durante um ano de monitoramento;

Estudar o comportamento da concentração de cloro residual livre em relação ao distanciamento da estação de tratamento de água e também em relação à turbidez;

Analisar os dados obtidos nos pontos estudados utilizando técnicas estatísticas adequadas, a fim de compreender as variações de cloro residual livre, turbidez e cor, e também as relações que estas últimas variáveis possuem com a concentração de cloro residual livre na água potável;

Verificar se os parâmetros de qualidade da água analisados nos pontos de coleta monitorados atendem a Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 28 de setembro de 2017.

3 REVISÃO DE LITERATURA

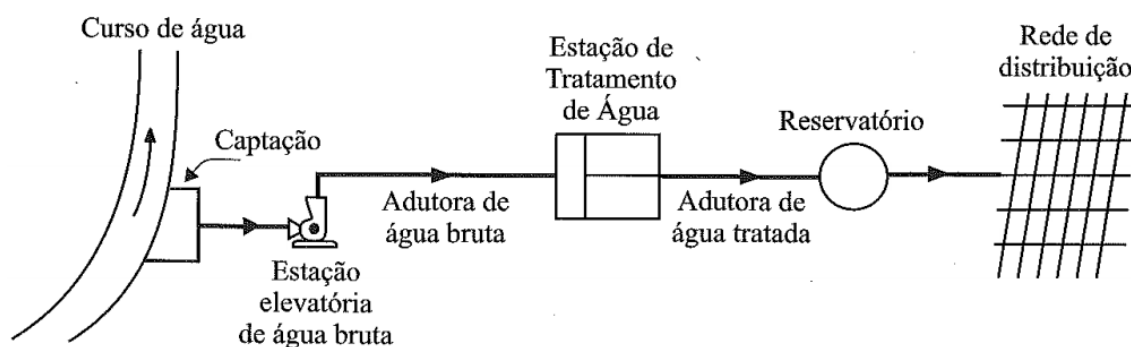
3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

É de conhecimento geral o papel essencial da água para a sobrevivência humana e para o desenvolvimento das sociedades, sendo uma das principais prioridades das populações o atendimento por um sistema de abastecimento com capacidade de fornecimento de água com qualidade e quantidade adequadas (HELLER; PÁDUA, 2010).

Segundo Tsutiya (2006), a concepção de um sistema de abastecimento de água é dada por um conjunto de estudos e conclusões referente a todas as diretrizes, parâmetros e definições necessárias para a caracterização completa do sistema a ser projetado, de modo que seja adotada a solução mais apropriada à realidade social em que será aplicada.

De acordo com a Figura 1, um sistema de abastecimento é composto por diversas partes, sendo elas manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água (ETA), reservatório e rede de distribuição.

Figura 1 – Sistema de abastecimento de água.



Fonte: Tsutiya (2006).

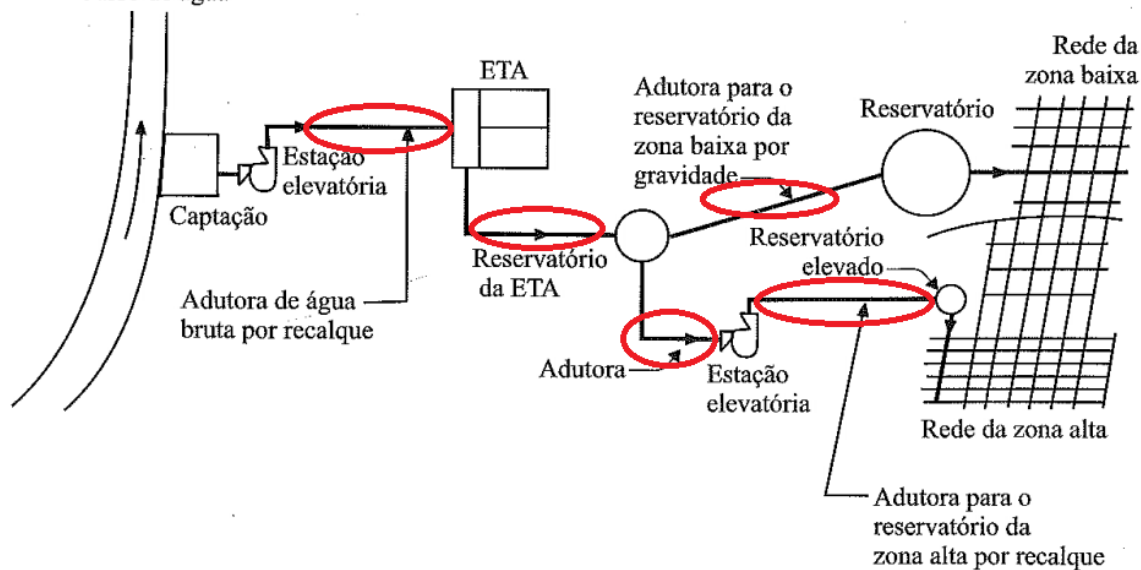
O manancial é o local de onde é realizada a retirada de água para o abastecimento do sistema. Em geral, pode ser do tipo superficial ou subterrâneo. O manancial deve fornecer vazão suficiente para atender a demanda de água no período de projeto e possuir qualidade adequada sob o ponto de vista sanitário, a fim de atender o estabelecido nas legislações vigentes (TSUTIYA, 2006).

A captação é formada por um conjunto de estruturas e dispositivos responsáveis pela retirada de água do manancial e por encaminhá-la ao sistema de abastecimento. O projeto da captação, sobretudo em mananciais de superfície, deve considerar cuidadosamente as características físicas do curso d'água e de suas margens, bem como as variações sazonais de vazão (HELLER; PÁDUA, 2010). As obras de captação devem ser projetadas e construídas de modo que funcionem ininterruptamente em qualquer época do ano, permitindo a retirada de água para o sistema de abastecimento em quantidade suficiente e com a melhor qualidade possível, com fácil acesso para operação e manutenção do sistema (TSUTIYA, 2006).

Quando o manancial encontra-se em cota inferior à da cidade há a necessidade da implantação de estações elevatórias, que são responsáveis por recalcar a água para a próxima unidade do sistema de abastecimento. Seu emprego é realizado em função principalmente do relevo do local. Em geral, nos sistemas há diversas estações elevatórias, que funcionam para o recalque da água bruta e da água tratada (TSUTIYA, 2006).

A adutora é a canalização que se destina a conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição, interligando a captação, estação de tratamento e reservatórios. Em função da água que transporta, pode ser classificada como adutora de água bruta ou de água tratada e, em função de suas características hidráulicas, pode ser em conduto livre, em conduto forçado por gravidade ou em recalque (HELLER; PÁDUA, 2010). A Figura 2 apresenta a localização das adutoras em um sistema de abastecimento de água.

Figura 2 – Localização de adutoras em um sistema de abastecimento de água.

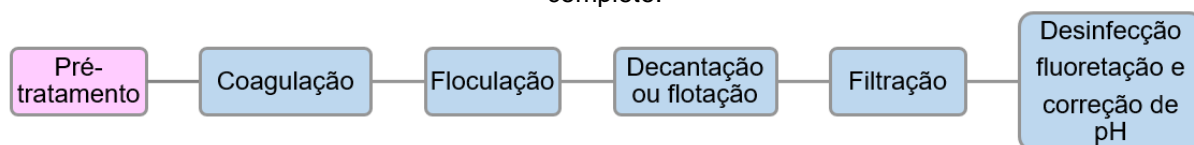


Fonte: Adaptado de Tsutiya (2006).

Após a retirada de água do manancial, a água é transportada até a ETA, local destinado a tratar a água de modo a adequar suas características aos padrões de potabilidade estabelecidos no Anexo nº XX da Portaria de Consolidação nº 05 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017). Na ETA a água passa por diferentes processos e operações unitárias, que podem variar conforme a origem e a qualidade da água bruta.

A Figura 3 ilustra as unidades de tratamento de ETAs abastecidas por águas superficiais proveniente de rios, baseados nas seguintes operações e processos: pré-tratamento, coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração, correção de pH, fluoretação e desinfecção.

Figura 3 – Etapas de tratamento da água em uma ETA de tratamento convencional ou em ciclo completo.



Legenda:

- Unidades opcionais
- Unidades obrigatórias

Fonte: A autora(2020).

A pré-oxidação pode ser utilizada como pré-tratamento sendo destinado ao controle de sabor e odor, remoção de cor, redução de poluentes orgânicos, precipitação de metais, redução na dosagem de coagulante e melhoria no processo de coagulação (MELO, 2018). No entanto, quando a água bruta apresentar matéria orgânica natural não é recomendável a pré-oxidação com cloro, já que poderá ocorrer a formação de subprodutos da desinfecção que são prejudiciais à saúde.

O processo de coagulação é caracterizado pela desestabilização das partículas coloidais presentes na água, ocasionada pela redução das forças de repulsão entre as partículas com carga negativa, através da adição de produtos químicos apropriados, como sais de ferro, de alumínio ou de polímeros sintéticos, seguidos por agitação rápida, com o intuito de homogeneizar a mistura (CASTRO, 2015).

Os flocos formados pela aglomeração de vários coloides na coagulação podem não ser suficientemente grandes para se depositarem no fundo do decantador à velocidade desejada. Dessa forma, a floculação tem por objetivo aumentar o tamanho dos flocos com peso suficiente para sedimentarem (MELO, 2018). Nessa etapa, podem ser utilizados polímeros como auxiliares na formação dos flocos.

A decantação tem por objetivo a remoção das partículas cuja densidade é superior à densidade da água. As partículas sedimentadas acumulam-se no fundo do decantador, e a água decantada é encaminhada à unidade de filtração (SIMAS *et al.*, 2005).

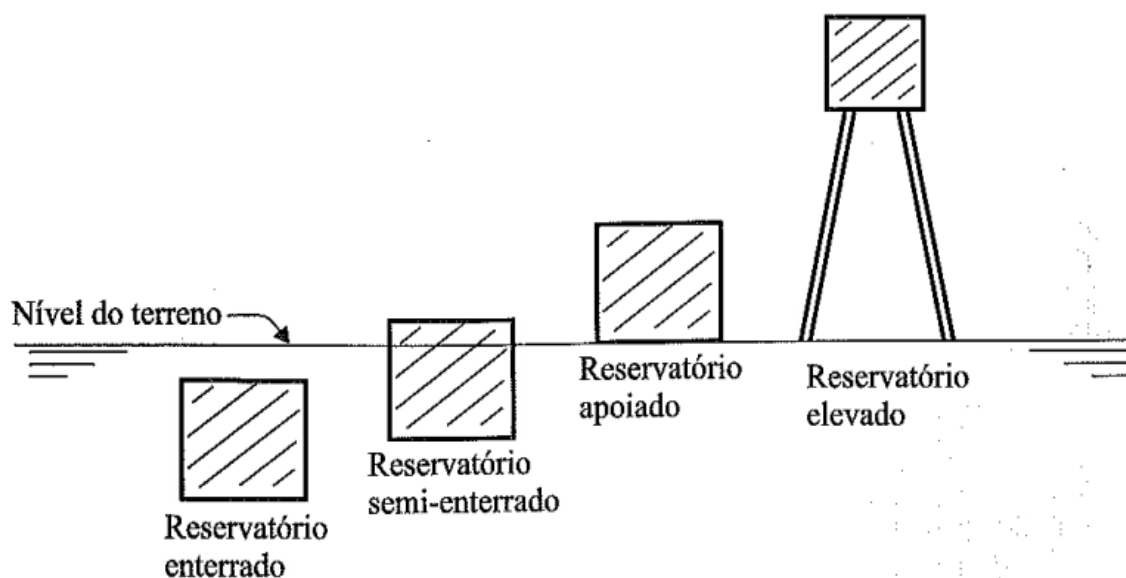
Segundo Melo (2018), a filtração é uma operação unitária que tem por objetivo a remoção de partículas sólidas em suspensão que não foram removidas nos decantadores, pela passagem da água em um meio poroso. Na filtração também ocorre a redução do número de bactérias e outros organismos bem como a remoção de cor, sabor e odor.

Apesar de haver a remoção de alguns microrganismos na filtração, é indispensável o processo de desinfecção da água, conforme descrito no item 3.2 deste trabalho, de forma a garantir a inativação dos microrganismos patogênicos com o uso de agentes químicos ou físicos na fase final do tratamento (MELO, 2018).

Após tratada, a água é armazenada em reservatórios para posterior distribuição à população. Os reservatórios de armazenamento de água atendem diversas finalidades no sistema de abastecimento, regularizam as variações entre as vazões de adução e distribuição, condicionam as pressões na rede de distribuição, fornecem água por ocasião de interrupções no funcionamento normal da adução e suprem vazões extras para o combate a incêndios (TSUTIYA, 2006).

Conforme a Figura 4, os reservatórios podem assumir diferentes formas em função de sua posição no terreno (apoiado, elevado, semi-enterrado, enterrado). Além das diferentes formas com relação à posição no terreno, os reservatórios podem ser de montante ou de jusante, de acordo com a posição em relação à rede de distribuição de água.

Figura 4 – Posições dos reservatórios em relação ao terreno.



Fonte: Tsutiya (2006).

A NBR 5626:1998 determina que os reservatórios de água potável devem manter o padrão de potabilidade da água, não devendo transmitir sabor, cor, odor ou toxicidades que dele são atribuídas (ABNT, 1998).

As diretrizes de projeto dos reservatórios devem sempre ter como objetivo a formação de uma mistura homogênea dentro do reservatório, buscando o menor tempo possível de retenção hidráulica em seu interior (RIBEIRO, 2018).

Por fim, a rede de distribuição é a parte do sistema de abastecimento de água formada por tubulações e acessórios, localizada nos logradouros públicos, destinada a disponibilizar água potável aos consumidores de forma contínua, em quantidade, qualidade e pressão recomendada. É a parte de maior custo do sistema, compreendendo cerca de 50% a 75% do custo total das obras de abastecimento, podendo assumir configurações bastante simples até extremamente complexas, em função do porte, da densidade demográfica, da distribuição e da topografia da área abastecida (HELLER; PÁDUA, 2010).

As redes de distribuição de água são essenciais no controle de qualidade da água, sendo imprescindível o monitoramento e conservação para atender os padrões de potabilidade da água distribuída à população. Para tanto o sistema de distribuição deve ser projetado, construído e operado de forma que a pressão sempre seja positiva em toda a sua extensão (BRASIL, 2017), protegido contra a poluição externa de modo a evitar a interrupção do sistema, mantendo-o em boas condições com o intuito de diminuir a possibilidade de contaminação (HELLER; PÁDUA, 2010).

Ainda segundo Heller e Pádua (2010), muitos problemas de vazamento na rede são causados por corrosão e incrustação nas paredes das tubulações. A corrosão consiste na deterioração dos materiais pela ação química ou eletroquímica do meio, podendo estar ou não associado a esforços mecânicos, e as incrustações são depósitos que se formam no interior das tubulações, devido à fixação de substâncias em suspensão e da precipitação de sólidos dissolvidos que se transformam em sólidos insolúveis devido ao aumento da temperatura.

Segundo Sarzedas (2009), os principais materiais das tubulações e demais conexões utilizados em sistemas de distribuição de água são de ferro fundido cinzento, ferro fundido dúctil (FD), ferro galvanizado (FG), aço, policloreto de vinila (PVC), polietileno (PE), polietileno de alta densidade (PEAD) e fibrocimento.

O traçado da rede também possui influência sobre a qualidade da água, podendo apresentar-se de dois tipos, como redes ramificadas e redes malhadas. Nas redes ramificadas os condutos secundários derivam de uma tubulação principal, já nas redes malhadas a tubulação pode ser ligada pelas duas extremidades, formando

anéis na rede, o que permite abastecer qualquer ponto da rede por mais de um caminho (HELLER; PÁDUA, 2010).

De acordo com Ribeiro (2014), na maior parte dos casos para facilitar as manutenções preventivas e corretivas, as redes são projetadas em setores, para quando necessário realizar o fechamento de uma parte da rede, as demais não serem prejudicadas, continuando normalmente o funcionamento. Esses setores, usualmente chamados de setores de manobra, são estipulados em função da topografia, comprimento das redes e demografia do local, podendo ser tratados como subsistemas, cada um com características próprias de tubulação e consumo de água.

3.2 DESINFECÇÃO DA ÁGUA

Em um sistema de tratamento de água, o processo de desinfecção tem como objetivo a inativação dos microrganismos patogênicos presentes na água como bactérias, protozoários, vírus e patógenos, capazes de proliferar e transmitir doenças de veiculação hídrica. A desinfecção é um processo complexo e que depende das propriedades físicas e químicas do agente desinfetante, da interação do desinfetante com o microrganismo patogênico, da natureza do patógeno e da qualidade da água bruta (RODRIGUES, 2018).

A inativação dos microrganismos é realizada mediante a destruição da estrutura celular, com a inativação de enzimas ou pela interferência na biossíntese e no crescimento celular, através de processos químicos ou por meio de processos físicos (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). A escolha do processo depende dos condicionamentos locais e da qualidade da água bruta, com o objetivo de atingir o máximo desempenho com o menor custo, atender os padrões de potabilidade e minimizar a formação de subprodutos da desinfecção (LIBÂNIO, 2016).

3.2.1 Processos físicos

Segundo Barroso e Wolff (2009), a radiação ultravioleta faz parte do rol dos processos físicos de desinfecção de águas de abastecimento, dos quais fazem parte também a fervura e as radiações gama e solar. Nos processos físicos, a inativação dos microrganismos se dá pela interferência na biossíntese e reprodução celular,

como consequência dos danos fotoquímicos causados a seus ácidos nucléicos, interrompendo a sua reprodução. A radiação pode também afetar as proteínas das células, causando morte aos organismos. Apesar de ser muito eficaz, com alto poder bactericida e de não produzir subprodutos da desinfecção, este tipo de desinfecção apresenta custos elevados e não mantém um residual de cloro na rede de distribuição, exigido pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

A fervura é uma técnica de desinfecção de água utilizada em áreas desprovidas de sistema de tratamento de água e de redes de distribuição, com o objetivo de inativar os microrganismos presentes na água (RODRIGUES, 2018).

3.2.2 Processos químicos

Os agentes químicos usados no processo de desinfecção devem possuir alto potencial de oxidação, como: cloro, bromo, iodo, dióxido de cloro, ozônio, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio, ácido peracético, ferrato de potássio e os íons metálicos prata e cobre.

A desinfecção com ozônio é rápida e eficaz, pois age em poucos milésimos de segundo diretamente na parede celular dos microrganismos neutralizando-a, sem propiciar a formação de trialometanos. Entretanto, esse processo possui a desvantagem de apresentar custo elevado e, por ser instável, não permanece com ação residual na água tratada (RODRIGUES, 2018).

O dióxido de cloro (ClO_2) é um gás sintético, de cor amarelo-esverdeado a 100°C que cristaliza como cristais laranjas a -59°C . Segundo Neves (2016), este composto apresenta elevado efeito oxidante, sendo útil na remoção de ferro, amônia, manganês e sulfuretos, porém possui a desvantagem de ser um processo com elevado custo devido à complexidade da tecnologia envolvida, requerendo cuidados especiais por operadores especializados.

A cloraminação é um processo em que o agente da desinfecção é a monoclaramina (NH_2Cl), composto que contém cloro e amônia. Possui vantagens em relação ao uso do cloro, tais como ser mais estável, não produzir trialometanos e apresentar poder elevado de desinfetante residual, porém é menos eficaz em termos

de desinfecção em relação ao cloro, necessitando de um tempo de contato superior, cerca de 100 vezes a mais (RODRIGUES, 2018).

Segundo Salgado (2008), entre todos os outros agentes desinfetantes químicos citados anteriormente, o mais utilizado nos sistemas de tratamento de água no Brasil é o cloro, principalmente na forma gasosa e hipoclorito de sódio ou de cálcio, devido ao seu baixo custo, efetividade, praticidade e melhoria nas características do efluente gerado. Facilmente disponível como gás, líquido ou sólido, possui baixo custo e fácil aplicação devido a sua alta solubilidade ($7,0 \text{ g.L}^{-1}$ a aproximadamente 20°C), é capaz de deixar residual em solução, apresenta concentração facilmente determinável que, não sendo prejudicial ao homem, protege o sistema de distribuição contra a maioria dos microrganismos patogênicos.

Existem, no entanto, algumas desvantagens na utilização do cloro, como sua capacidade de reagir com algumas substâncias orgânicas e inorgânicas naturalmente presentes na água, dando origem a subprodutos indesejáveis como os trihalometanos, ácidos haloacéticos, halocetonas, acetonitrilas, e o fato de elevadas doses produzirem problemas de odor e sabor na água (NEVES, 2016).

3.2.3 Desinfecção da água com cloro

Segundo Neves (2016), a desinfecção de água com o cloro tem um papel de grande importância sobre a saúde pública, minimizando doenças transmitidas pela água, sendo utilizado desde o início do século XX em sistemas de tratamento de água. Na maioria das vezes, o cloro é utilizado como desinfetante em três formas, como cloro gasoso (Cl_2) sendo dissolvido diretamente no ponto de aplicação, na forma sólida como hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) ou solução de hipoclorito de sódio (NaClO).

Segundo Biondo (2019), o cloro gasoso é utilizado em ETA de grandes dimensões, por ser mais econômico. Quando o mesmo é adicionado à água ocorre a reação apresentada pela Equação (1), hidrolisando-se rapidamente e formando o ácido hipocloroso (HClO).



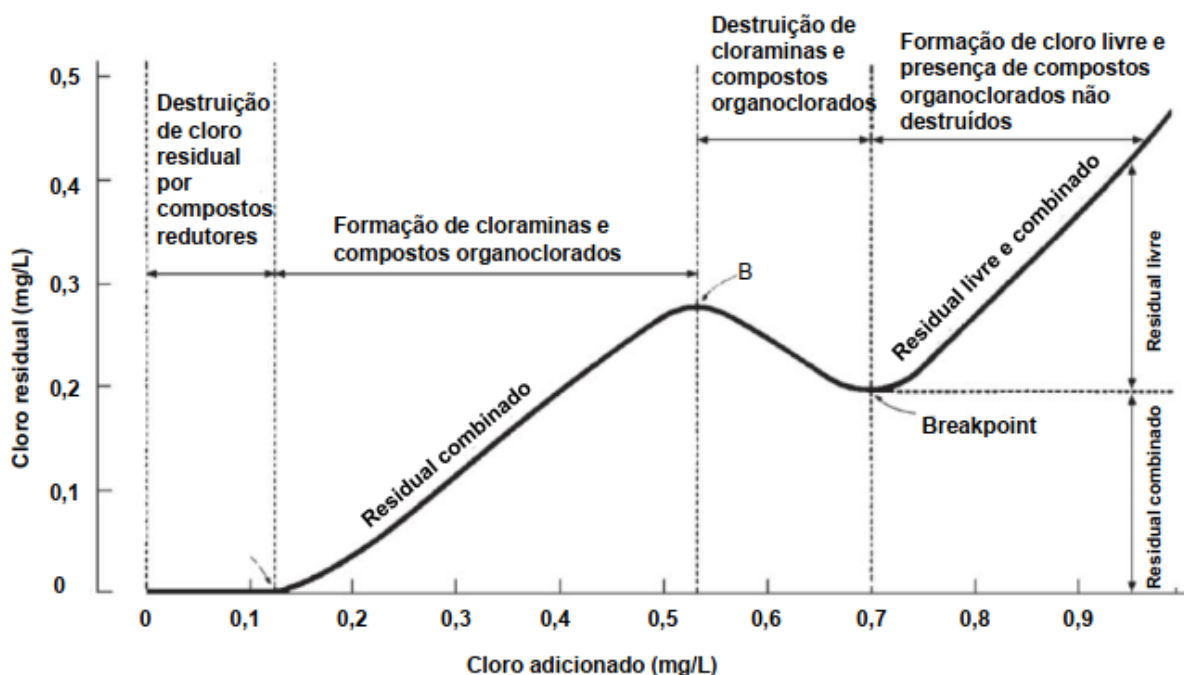
Em solução diluída e pH acima de 4, o equilíbrio da reação é deslocado para a direita, restando pouca quantidade de Cl_2 . O ácido hipocloroso resultante é um ácido fraco que se dissocia rapidamente conforme apresentado pela Equação (2), originando íon hipoclorito (ClO^-).



Segundo Deborde e Von Gunten (2008), as águas de abastecimento, em geral, apresentam valores de pH entre 5 e 10. Nessa condição as formas presentes são o ácido hipocloroso e o íon hipoclorito. Essas formas são chamadas de cloro residual livre. Quando há presença de amônia e compostos amoniacais na água, após a adição de cloro são formados compostos clorados ativos, denominados cloraminas. O cloro presente sob a forma de cloraminas é denominado cloro residual combinado.

Inicialmente, quando o cloro é adicionado à água, este reage com os compostos presentes na mesma e somente após é que encontra-se disponível para realizar a função de desinfetante. Designa-se carência química de cloro a quantidade de cloro necessária para que ocorra a oxidação de toda a amônia disponível. Assim, a desinfecção só será assegurada caso a dose de cloro adicionada seja maior que o chamado ponto crítico ou *breakpoint*, pois a partir deste ponto, com o aumento da dosagem de cloro, há um aumento correspondente de cloro residual livre (NEVES, 2016).

A Figura 5 apresenta a curva do cloro residual dividida em quatro zonas. A primeira zona ilustra a carência química de cloro, em que o cloro dosado reage com a matéria orgânica e inorgânica e é reduzido a cloretos. Na segunda zona, o cloro adicionado reage com a amônia e forma as cloraminas, que possuem capacidade desinfetante, o que resulta em uma concentração residual de cloro combinado. A terceira zona mostra a redução das cloraminas devido a oxidação das mesmas pela adição do cloro, sendo quebradas e convertidas em gás nitrogênio, que sai do sistema. A partir da inflexão da curva, alcançada quando há o equilíbrio da relação cloro e matéria oxidável (*breakpoint*), toda a concentração de cloro transforma-se em ácido hipocloroso e íon hipoclorito, chamado de cloro residual livre, como se vê na última zona (NEVES, 2016).

Figura 5 – Curva de desinfecção com cloro ao *breakpoint*.

Fonte: Adaptada de Alves, 2010.

Após passar pelo processo de desinfecção, a água para consumo humano deve possuir cloro residual livre ou combinado, ou outros agentes desinfetantes, de modo a combater possíveis contaminações no decorrer do sistema de distribuição, e atender a concentração mínima de cloro residual livre de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$, ou 2 mg.L^{-1} de cloro residual combinado ou de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição conforme disposto no anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

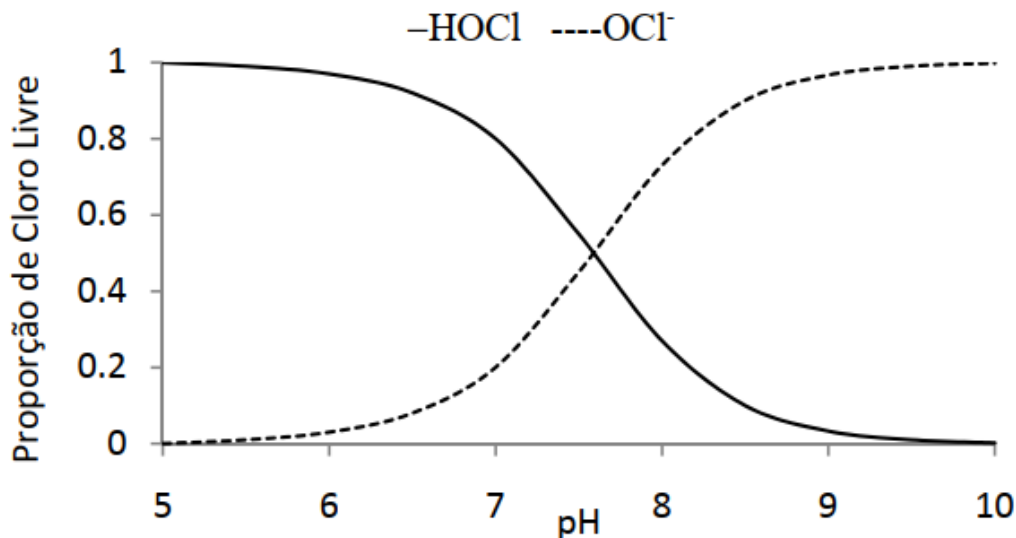
3.2.4 Fatores que influenciam na eficiência da cloração

Para otimizar o processo de desinfecção com cloro, de modo a garantir o teor mínimo de cloro residual livre ao longo do sistema de distribuição, é necessário controlar os fatores que podem influenciar na eficiência da cloração, como: pH, temperatura, turbidez, tempo de contato, concentração de cloro, estado de conservação das redes de distribuição e extensão das mesmas (SALGADO, 2008).

A desinfecção com cloro tem uma forte dependência do pH. Em solução aquosa e pH baixo, próximo a 6, corresponde à desinfecção mais eficaz devido a predominância de HClO, enquanto que um pH alto, em torno de 9, corresponde à

predominância de ClO^- , o que conduz à perda na capacidade da desinfecção (DEBORDE; VON GUNTEN, 2008), conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Efeito do pH na quantidade relativa de HOCl e OCl^- :



Fonte: Pierezan, 2009.

A temperatura também influi sobre a inativação de grande parte dos microrganismos. Apesar da ocorrência de uma pequena diminuição da proporção de ácido hipocloroso em relação ao íon hipoclorito com o aumento da temperatura, o poder germicida aumenta devido à influência da mesma na cinética de inativação patogênica (NEVES, 2016).

O tempo de contato também é um fator que influencia a cloração. Quanto maior o tempo de contato, maior será a eficiência do processo (PIEREZAN, 2009). O anexo 4, 5 e 6 do anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde apresenta tabelas de tempo de contato mínimo a ser observado para a desinfecção por meio da cloração, cloraminação e desinfecção com dióxido de cloro (BRASIL, 2017).

Com relação à turbidez, quanto menor o valor de turbidez, melhor será a eficiência do processo de desinfecção (HELLER; PÁDUA, 2010). A Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde limita o valor máximo permitido (VMP) de turbidez para 5,0 unidades de turbidez (NTU) em qualquer ponto da rede de distribuição (BRASIL, 2017).

No que diz respeito a concentração do cloro, a mesma deve ser estipulada em função do teor de cloro residual livre que pretende-se estabelecer na rede de distribuição, levando-se em consideração a resistência dos microrganismos que se pretende eliminar (NEVES, 2016). Porém, é importante considerar que elevados valores de cloro residual livre conferem a água sabor e cheiro, podendo desagradar os consumidores.

A extensão e o estado de conservação da rede de distribuição também influenciam na eficiência da cloração, devendo-se levar em consideração o tipo de material, o revestimento interno das tubulações, a velocidade de escoamento e o tempo de residência da água no sistema. Nos casos em que a rede de distribuição for muito extensa deve ser verificada a necessidade de instalação de pontos de cloração, a fim de assegurar um teor residual em todos os pontos da rede, tendo em vista que a concentração de cloro residual livre diminui ao longo da rede de distribuição (JUNQUEIRA, 2010).

3.2.5 Decaimento de cloro em sistemas de distribuição de água

De acordo com Ramos *et al.* (2009), o cloro é uma substância não conservativa, com alto poder reativo. Quando é adicionado à água, reage com materiais ou partículas dissolvidas, e a sua concentração diminui ao longo do tempo. Este fato é influenciado por diversos fatores físico-químicos do fluido, como temperatura, pH, velocidade de escoamento e concentração de substâncias reativas ao cloro, além dos elementos do sistema de distribuição, como o diâmetro da tubulação, material constituinte, idade do sistema, entre outros, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Reações do cloro nas paredes das tubulações.

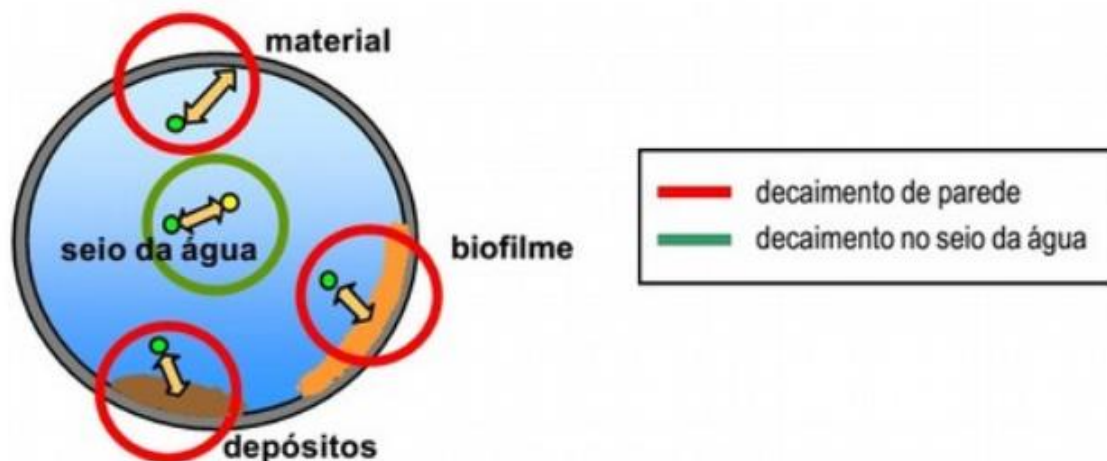


Fonte: Pierezan, 2009.

Segundo Fisher *et al.* (2011), o decaimento do cloro pode ocasionar efeitos indesejáveis, como a aplicação de altas dosagens na entrada do sistema de distribuição com o intuito de atender o valor mínimo exigido de cloro residual livre nas pontas da rede, podendo ocasionar a formação de subprodutos que são prejudiciais à saúde humana, como os trihalometanos. Ainda de acordo com Fisher *et al.* (2011), o decaimento do cloro é definido por duas fases, sendo uma fase inicial com alta velocidade de decaimento, seguida por uma segunda fase com uma taxa de decaimento mais lenta.

Segundo Neves (2016), os sistemas de distribuição de água apresentam características semelhantes a um reator, onde ocorrem reações de origens químicas e biológicas no escoamento e/ou entre a água e o material do reservatório e da tubulação. Segundo Pierezan (2009), os três fatores que mais influenciam na demanda de cloro são devido às reações com compostos orgânicos e inorgânicos no corpo do escoamento; devido a reações com o biofilme na parede da tubulação; e pelo processo de corrosão, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Reações que contribuem para o decaimento do cloro residual.



Fonte: Adaptada de Vieira *et al.*, 2001

Segundo Junqueira (2010), no seio líquido da água a velocidade do decaimento depende da temperatura da água, pH e concentrações dos reagentes envolvidos. Durante o escoamento, o cloro reage com espécies inorgânicas presentes na água tratada facilmente oxidáveis como amoníaco, ferro, manganês, sulfuretos, nitritos, cianetos, e com compostos orgânicos menos reativos, como aminoácidos e proteínas.

Segundo Pierezan (2009), na parede da tubulação, a interação ocorre entre o cloro e o material da tubulação, depósitos e biofilme, que é definido como uma mistura complexa de microrganismos e materiais inorgânicos acumulados entre uma matriz orgânica aderida à superfície interna do sistema de distribuição. Este decaimento é influenciado diretamente pelas características da tubulação, como material constituinte, revestimento interno, idade, rugosidade, diâmetro e presença de biomassa depositada.

O método mais simples para apresentar o decaimento do cloro devido às reações no seio da água e nas paredes das tubulações é o decaimento de primeira ordem simples, onde K uma constante única que representa a soma das duas constantes: de decaimento no seio da água (k_b) e de decaimento na parede da tubulação (k_w) (POWELL *et al.*, 2000), conforme a Equação (3).

$$K = k_b + k_w \quad (3)$$

3.3 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS

3.3.1 Análise de variância (ANAVA)

Análise de variância é a técnica estatística que permite testar médias de populações. A análise visa verificar se há uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente. Quando todas as unidades experimentais são homogêneas e os tratamentos são atribuídos de forma completamente aleatória utiliza-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) (BANZATTO; KRONKA, 2006).

Para a realização desses testes são admitidas duas hipóteses, sendo elas H_0 : considerando que os efeitos de todos os tratamentos são iguais e H_1 : considerando que pelo menos um tratamento tem efeito diferente dos demais. Nas ocasiões em que se rejeita H_0 , deve-se admitir H_1 como verdadeira.

O modelo matemático do DIC pode ser definido por meio da Equação (4).

$$x_{ij} = m + t_i + e_{ij} \quad (4)$$

Onde:

i: número de tratamentos (pontos de coleta);

j: número de repetições (dias das coletas);

x_{ij} : valor observado na parcela que recebeu o tratamento "i", na repetição "j";

m: média geral da população;

t_i : efeito do tratamento "i" aplicado na parcela;

e_{ij} : efeito dos fatores não controlados na parcela que pode ser chamado de erro.

O Quadro 1 apresenta a metodologia para a análise de variâncias, com a qual é possível a verificação se a hipótese nula é aceita ou não.

Quadro 1 – Quadro de Análise de Variância

Causa de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	Fcal
Tratamento	I-1	SQT	QMT =SQT/(I-1)	QMT/QMR
Resíduo	I (J-1)	SQR	QMR=SQR/(I(J-1))	
Total	IJ-1	SQTot		

Fonte: Banzatto e Kronka (2006).

Onde:

Soma de Quadrados Para Tratamentos: $SQT = \left(\frac{1}{J} * \sum_{i=1}^I T_i^2 \right) - C$

Soma de Quadrados Total: $SQTot = \sum_{j=1}^I \sum_{i=1}^J x_{ij}^2 - C$

Soma de Quadrados do Resíduo: $SQR = SQTot - SQT$

Correção: $C = \frac{1}{IJ} * \left(\sum_{j=1}^I \sum_{i=1}^J x_{ij} \right)^2$

Utilizando o valor de Fcal do Quadro 1 calcula-se o p-valor. Nos casos em que o p-valor apresente valor maior que o nível de significância estabelecido (5% ou 1%) aceita-se H_0 . Já nos casos em que este apresente valor menor que o nível de significância estabelecido, indica que deve-se rejeitar H_0 , sendo assim aceita-se H_1 como verdadeira. O procedimento seguinte é a verificação de quais tratamentos possuem médias diferentes. Existem vários testes para tal, sendo um deles o teste de Scott-Knott.

O procedimento de Scott-Knott (1974), utiliza a razão de verossimilhança para testar a significância de que n tratamentos podem ser divididos em dois grupos que maximizam a soma de quadrados entre grupos. Para exemplificar, supondo 3 tratamentos, A, B e C. O procedimento consiste em determinar uma partição, em dois grupos, que maximize a soma de quadrados, sendo que o número de partições possível é dado por $(2^{n-1} - 1)$. Neste caso são possíveis 3 grupos, isto é, A vs B e C, B vs A e C e C vs A e B. Com um número pequeno de tratamentos como o do exemplo, é fácil obter todos os grupos. Contudo, quando o número de tratamentos é grande, o número de grupos cresce exponencialmente, dificultando a aplicação do teste. Para atenuar esse problema, basta ordenar as médias dos tratamentos.

Ainda segundo Scott-Knott (1974), uma vez ordenadas as médias, procede-se do seguinte modo, fazendo inicialmente o número de tratamentos (g) igual a n:

1. Determinar a partição entre dois grupos que maximize a soma de quadrados entre grupos. Essa soma de quadrados será definida por B_0 , e será estimada da seguinte forma: sejam T_1 e T_2 os totais dos dois grupos com k_1 e k_2 tratamentos em cada um, conforme as Equações (5) e (6).

$$B_0 = \frac{T_1^2}{k_1} + \frac{T_2^2}{k_2} - \frac{(T_1+T_2)^2}{k_1+k_2} \quad (5)$$

$$T_1 = \sum_{i=1}^{k_1} \bar{Y}_{(i)} \quad \text{e} \quad T_2 = \sum_{i=k_1+1}^g \bar{Y}_{(i)} \quad (6)$$

Em que $\bar{Y}_{(i)}$ é a média do tratamento da posição ordenada i . Os dois grupos deverão ser identificados por meio da inspeção das somas de quadrados das $g-1$ partições possíveis, sendo g o número de tratamentos envolvidos no grupo de médias considerado.

2. Determinar o valor da estatística λ de acordo com a Equação (7).

$$\lambda = \frac{\pi}{2(\pi-2)} \cdot \frac{B_0}{\hat{\sigma}_0^2} \quad (7)$$

Em que $\hat{\sigma}_0^2$ é o estimador de máxima verossimilhança de σ_Y^2 .

Seja $s_Y^2 = \frac{QME}{r}$ a estimativa da variância da média dos tratamentos, “ r ” o número de repetições com que se estimaram as médias dos tratamentos e v os graus de liberdade do resíduo da análise de variância, conforme Equação (8).

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{1}{g+v} \cdot \left[\sum_{i=1}^g (\bar{Y}_{(i)} - \bar{Y})^2 + v s_Y^2 \right] \quad (8)$$

3. Se $\lambda \geq \chi_{(\alpha; \frac{g}{\pi-2})}^2$, rejeita-se a hipótese de que os dois grupos são idênticos em favor da hipótese alternativa de que os dois grupos diferem;
4. No caso de rejeitar essa hipótese, os dois subgrupos formados serão, independentemente, submetidos aos passos 1 a 3, fazendo, respectivamente, $g = k_1$ e $g = k_2$. O processo em cada subgrupo se encerra ao aceitar H_0 no passo 3 ou se cada subgrupo contiver apenas uma média.

3.3.2 Análise de variância para tratamentos numéricos com regressão

Quando a ANAVA apresentar diferença significativa entre os tratamentos e estes forem numéricos, pode-se utilizar a análise de regressão no lugar do teste para médias. Essa técnica permite o estudo da variável que está sendo mensurada em função dos valores dos tratamentos, ou seja, ela determina uma equação matemática que melhor representa esse comportamento (BANZATTO; KRONKA, 2006).

Considerando uma situação na qual um pesquisador, em um estudo qualquer, chegou ao Quadro 2 de ANAVA apresentado a seguir. Neste quadro pode-se verificar que a variabilidade causada pelos tratamentos é estatisticamente significativa e com isso podem-se desdobrar esses três graus de liberdade em regressão.

Quadro 2 – Quadro de Análise de Variância

Causa de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	Fcal	p-valor
Tratamento	3	22.8319	7.6106	36.062	2.7782e ⁻⁰⁶
Resíduo	12	2.5325	0.2110		
Total	15	25.3644			

Fonte: Banzatto e Kronka (2006).

No Quadro 3 está apresentado o método para o desdobramento de apenas um grau de liberdade, caracterizado pelo modelo linear.

Quadro 3 – Quadro de Análise de Variância com Regressão Linear

Causa de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	Fcal	p-valor
Tratamento	3	22.8319	7.6106	36.062	2.7782e ⁻⁰⁶
Efeito Linear	1	SQREG	QMREG = SQREG	QMREG/QMRES	
Demais Efeitos	2	SQT - SQREG	SQFEITOS	QMEFEITOS/QMRES	
Resíduo	12	2.5325	0.2110		
Total	15	25.3644			

Fonte: Banzatto e Kronka (2006).

Os parâmetros da reta são o b_0 , caracterizado pelo intercepto, e b_1 como sendo o coeficiente angular da reta. O cálculo desses parâmetros pode ser obtido por meio das Equações (9) e (10).

$$\hat{b}_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} \quad (9)$$

$$\hat{b}_1 = \frac{\sum x_i \cdot y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sum x_i^2 - n \bar{X}^2} \quad (10)$$

Em que \bar{X} é a variável tratamento e \bar{Y} a variável resposta do estudo.

Quando no quadro de regressão da ANAVA o efeito linear for significativo, deve-se testar se os parâmetros da reta podem ser considerados diferentes de zero por meio das seguintes estatísticas de teste, conforme Equações (11) e (12) (BANZATTO; KRONKA, 2006).

$$t_{\text{cal}(b_0)} = \frac{\hat{b}_0}{\sqrt{QM_{\text{res}}}} \sqrt{\frac{n \sum (x_i - \bar{X})^2}{\sum x_i^2}}, \quad (11)$$

$$t_{\text{cal}(b_1)} = \frac{\hat{b}_1}{\sqrt{QM_{\text{res}}}} \sqrt{\sum (x_i - \bar{X})^2} \quad (12)$$

Posteriormente deve-se determinar o percentual de ajuste do modelo às médias dos tratamentos através do coeficiente de determinação (R^2) por meio da Equação (13) e (14), onde SQREG é a soma de quadrados da regressão linear e SQT a soma de quadrados de tratamentos (BANZATTO; KRONKA, 2006).

$$R^2 = \frac{SQREG}{SQT} \quad (13)$$

$$SQREG = (b_1)^2 \sum_{i=1}^l (X_i - \bar{X})^2 \quad (14)$$

A análise de regressão pode ser feita não somente para o modelo linear, existem diversos modelos disponíveis. Essa técnica de determinação de modelo matemático para um conjunto de dados também pode ser aplicada fora da análise de variâncias.

3.3.3 Transformação de dados com o método de Box-Cox

Para variáveis que não atendem os pressupostos da análise de variância, como normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias entre os tratamentos, é necessário que seja realizada uma transformação nos dados. Box-Cox (1964), propuseram um método para a família de transformações de potência que fornece

uma estrutura linear simples, constância da variância do erro, independência entre as observações e normalidade.

A transformação de potência é modificada para que a variável transformada seja contínua em $\lambda=0$, sendo λ um autovetor. A Equação (15) ilustra as equações utilizadas para essa transformação.

$$Y_i(\lambda) \begin{cases} \frac{Y_i^{\lambda}-1}{\lambda}, & \text{para } \lambda \neq 0 \\ \log_e Y_i & \text{para } \lambda = 0 \end{cases} \quad (15)$$

Então, $Y(\lambda) = (Y_1(\lambda), \dots, Y_n(\lambda))$ é um vetor $n \times 1$, podendo-se ajustar o modelo $Y(\lambda) = X\beta + \varepsilon$ aos dados transformados.

O método de máxima verossimilhança de estimação de λ é constituído de três etapas. Primeiramente arbitra-se valores para λ . Os valores de λ são escolhidos em um determinado intervalo. Inicialmente pode ser $\lambda = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$. Posteriormente calcula-se o máximo da log-verossimilhança, para cada valor de λ , conforme a Equação (16).

$$l_{\max}(\lambda) = -\frac{1}{2} n \log(\hat{\sigma}^2(\lambda)) + \log(J(\lambda, Y)) \quad (16)$$

Onde:

$$\hat{\sigma}^2(\lambda) = Y'(\lambda)(I - X(X'X)^{-1}X')Y(\lambda)/n,$$

$$J(\lambda, Y) = \prod_{i=1}^n \frac{\partial Y_i(\lambda)}{\partial Y_i} = \prod_{i=1}^n Y_i^{\lambda-1}, \text{ para todo } \lambda.$$

Após calcular $l_{\max}(\lambda)$ para os valores do intervalo, verifica-se se o gráfico de $l_{\max}(\lambda)$ versus λ contém o ponto de máximo da curva. Se isto ocorrer, o procedimento está terminado e o valor de λ correspondente ao ponto de máximo é o estimador de máxima verossimilhança de λ . Caso contrário, é necessário ampliar o intervalo de variação dos valores para λ .

Finalizando, o intervalo de $100(1-\alpha) \%$ de confiança para λ é dado pela Expressão (17).

$$\{ \lambda: \text{Imax}(\hat{\lambda}) - \text{Imax}(\lambda) \leq \frac{1}{2} \chi_1^2(1-\alpha) \} \quad (17)$$

Onde $\text{Imax}(\hat{\lambda})$ é a ordenada correspondente ao ponto de máximo da curva $\text{Imax}(\lambda)$ versus λ . Esse valor de lambda deve ser utilizado na Equação (15) para executar a transformação dos dados.

4 METODOLOGIA

Devido à inviabilidade do monitoramento integral da rede de distribuição de Ponta Grossa, certas restrições foram tomadas, as quais estão descritas oportunamente nos tópicos a seguir.

4.1 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

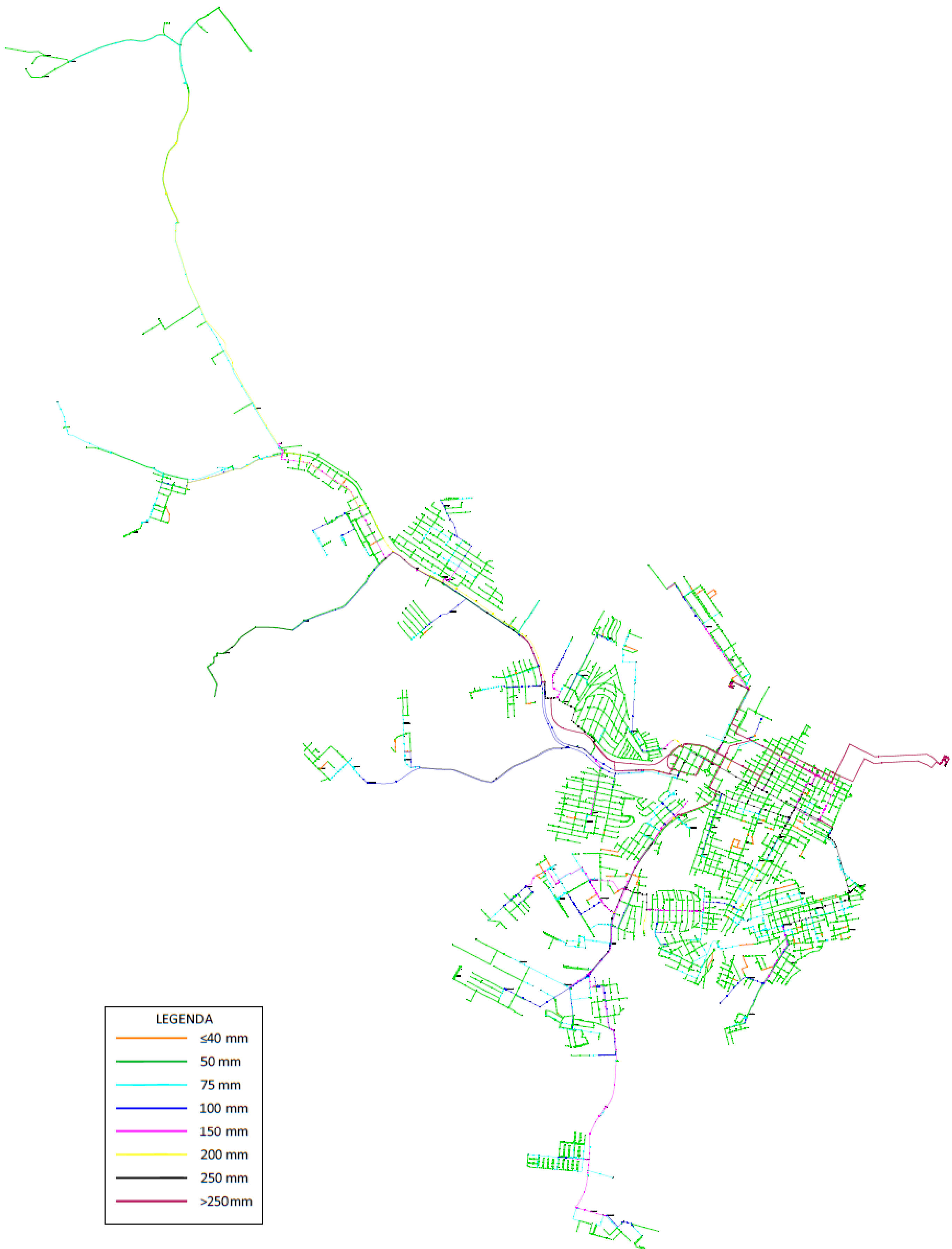
O sistema de abastecimento de água no município de Ponta Grossa, localizado no Estado do Paraná, é formado por quatro setores, sendo eles: Central, Jockey (Uvaranas), Los Angeles e Suíço. O setor de abastecimento estudado foi o Setor Los Angeles, que abastece a região noroeste da cidade de Ponta Grossa, abrangendo os bairros Chapada, Contorno, Boa Vista, Ronda, Nova Rússia e Órfãs, com área total de 49,34 km², atendendo cerca de 38,29% da população da cidade.

O controle de qualidade da água consistiu em amostras semanais coletadas em 7 pontos de consumo atendidos pela unidade regional da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) ao longo da rede de distribuição de água que compreende o setor de abastecimento Los Angeles. A escolha desse setor de abastecimento foi feita mediante à logística envolvida, visto a dimensão total do sistema associada à capacidade, viabilidade da coleta e análise de informações.

4.1.1 Setor estudado

O setor Los Angeles possui atualmente 689.179 metros de rede de distribuição e 35.706 pontos de consumo de água. Os diâmetros da rede variam de 32 mm a 500 mm conforme Figura 09. A rede é malhada e as tubulações e demais conexões são compostas pelos materiais PVC, PVC Defofo, PEAD, FD, FG e aço.

Figura 09 – Mapa de diâmetros da rede de abastecimento de água do setor de abastecimento Los Angeles.



Fonte: Sanepar (2019).

A área em estudo inicia no reservatório de abastecimento que armazena e distribui água potável produzida na ETA da Sanepar, localizada no bairro Jardim Carvalho na cidade de Ponta Grossa, denominado na Figura 10 como reservatório nº 1, com capacidade de 4.000 m³. O reservatório nº 1 abastece o reservatório nº 2 com capacidade de 15.000 m³, localizado no bairro Jardim Los Angeles conforme apresentado na Figura 11. A tubulação que interliga os reservatórios nº 01 e 02 é de aço, com extensão de aproximadamente 4.500 metros.

4.1.2 Pontos de coleta de amostras de água

Para realizar esse estudo foram utilizados dados de 51 coletas em 07 pontos de amostragem ao longo da rede de distribuição de água, com periodicidade semanal durante outubro de 2018 a setembro de 2019. Não foi realizada coleta na última semana do mês de junho devido a treinamentos e logística de pessoal responsável pelas coletas.

As coletas foram realizadas por técnico químico, que percorria o trajeto de aproximadamente 45 km, desde os reservatórios apresentados nas Figuras 10 e 11, até os 4 pontos da rede de distribuição de água.

Figura 10 – Localização da Estação de Tratamento de Água e do reservatório nº 01.



Fonte: Adaptado Geoweb (2019).

Figura 11 – Localização do reservatório nº 02.



Fonte: Adaptado Geoweb (2019).

As coletas foram programadas para acontecerem nas quartas-feiras de cada semana, podendo em algumas semanas serem realizadas na terça-feira ou quinta-

feira por questão de logística, no intervalo das 8h às 10h. Os pontos de coleta foram selecionados próximos à saída e entrada dos reservatórios do setor estudado e também em unidades de saúde do município, por serem locais públicos, com facilidade de acesso. A coleta das amostras foi realizada no ponto disponível mais próximo ao hidrômetro, com a preocupação de que este ponto estivesse à montante do reservatório do imóvel. As amostras identificadas foram acondicionadas em caixas térmicas e transportadas até o laboratório da Sanepar para realização das análises. Nos sete pontos de coleta foram determinadas turbidez, cloro residual livre, cor aparente e coliformes totais. Foram também disponibilizados pela Sanepar os dados da qualidade da água bruta nas datas das coletas das amostras de água tratada.

As Figuras 12 à 18 apresentam a localização dos pontos de coleta 01 ao 07. As informações dos mesmos encontram-se resumidas no Quadro 4.

Quadro 4 – Informações dos pontos de coletas.

Ponto	Coordenada X	Coordenada Y	Localização	Características da rede que os interligam à ETA
01	585.138	7.226.039	Rua Conrado Pereira Ramos, nº 500, bairro Jardim Carvalho, localizado na saída da ETA	-
02	582.168	7.227.191	Rua Margarida Zagonel, s/nº, bairro Boa Vista, localizado na entrada do reservatório Los Angeles	Rede de aço de 4.500 metros de extensão
03	582.167	7.227.183	Rua Margarida Zagonel, s/nº, bairro Boa Vista, localizado na saída do reservatório Los Angeles	Rede de aço de 4.500 metros de extensão
04	583.078	7.223.390	Rua Cruzeiro do Oeste, s/nº, bairro Ronda, localizado na unidade de saúde Roberto de Jesus Portela	Rede de FD em 80% da sua extensão, e em PVC, e possui 4.700 metros de extensão
05	578.300	7.223.107	Rua Professor Plácido Cardon, nº 745, bairro Contorno, localizado na unidade de saúde Carlos Dezaunet Neto	Rede de PVC, FD e aço, e possui cerca de 10.300 metros de extensão
06	579.160	7.226.961	Rua Moacyr Lazarotto Oliveira, nº 425, bairro Parque do Café, localizado na unidade de saúde Carlos Ribeiro de Macedo	Rede de aço, PVC e FD, e possui cerca de 8.000 metros de extensão
07	574.292	7.229.976	Rua Brasília Itiberê, nº 336, bairro Cristo Rei, localizado na unidade de saúde Luiz Fernando Cajado Braga	Rede de PVC, FD e aço, e possui aproximadamente 15.900 metros de extensão

Fonte: A autora (2020).

Figura 12 – Localização do ponto de coleta 01.



Fonte: Adaptado Geoweb (2019).

Figura 13 – Localização dos pontos de coleta 02 e 03.



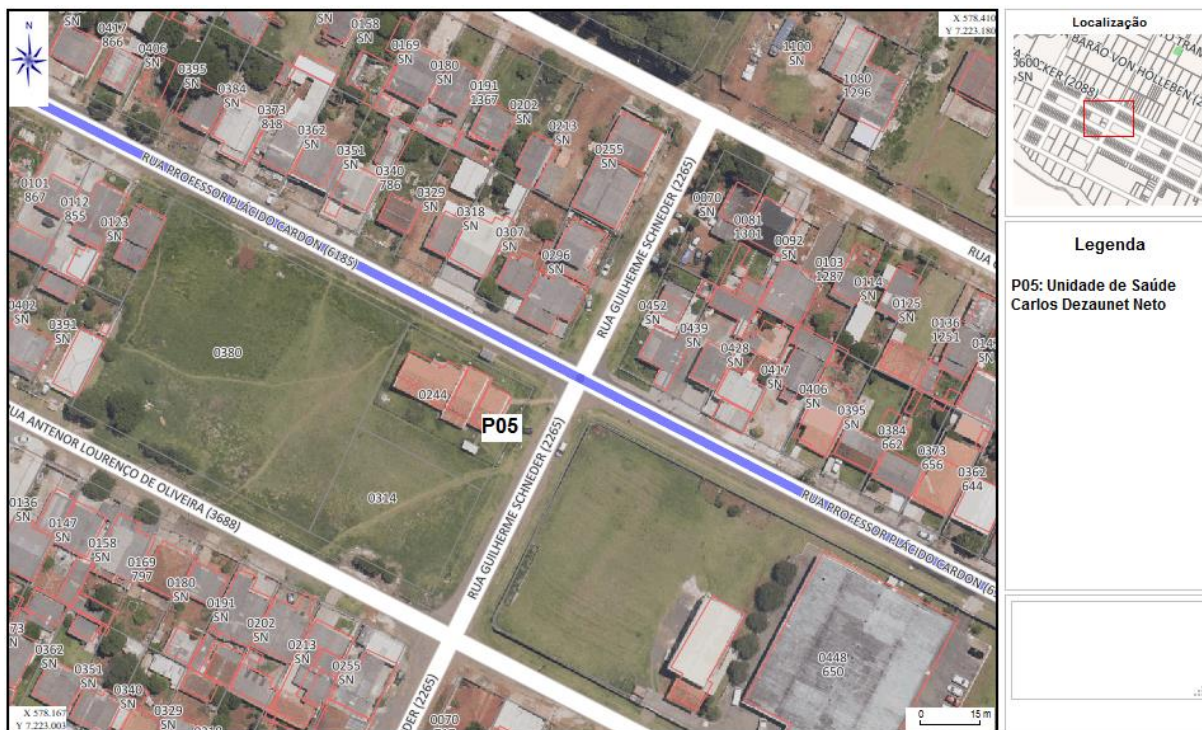
Fonte: Adaptado Geoweb (2019).

Figura 14 – Localização do ponto de coleta 04.



Fonte: Adaptado Geoweb (2019).

Figura 15 – Localização do ponto de coleta 05.



Fonte: Adaptado Geoweb (2019).

Figura 18 – Localização dos sete pontos analisados.



Fonte: Adaptado Google Earth (2020).

4.1.3 Métodos e equipamentos de medição

O método utilizado para a realização das coletas e análises dos parâmetros de qualidade da água seguiu o disposto no Sistema Normativo da Sanepar (SANEPAR, 2018). A determinação da cor aparente foi realizada pelo método de comparação visual, com o equipamento Aquatester. O procedimento consiste em homogeneizar as amostras, logo após a coleta, encher um tubo de Nessler com a amostra de água, que é colocado ao lado direito do comparador de cor. Do lado esquerdo é colocado um segundo tubo de Nessler com água tipo III, que é uma água com maior grau de pureza, e inserido o disco colorimétrico, para que o profissional olhe no visor e gire o disco até que haja coincidência da cor.

A determinação da turbidez foi realizada por meio do método Nefelométrico, utilizando um turbidímetro da marca Hach, modelo 2100Q calibrado. O procedimento consiste em homogeneizar as amostras e em seguida inseri-las na cubeta, que é

colocada no compartimento de leitura do turbidímetro. A leitura da turbidez é realizada diretamente no visor do equipamento.

Para a análise da presença ou ausência de Coliformes Totais foi utilizado o método enzimático com substrato ReadyCult[®]. O procedimento consiste em inicialmente adicionar assepticamente o substrato em 100 mL da amostra, fechar o frasco e agitá-lo vigorosamente até a dissolução do substrato. Em seguida a amostra é colocada em estufa e incubada por 24 horas com temperatura de $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. O resultado é positivo para Coliformes Totais caso a amostra apresente coloração esverdeada, caso contrário o resultado é negativo.

Para a análise de cloro residual livre foi utilizado um disco colorimétrico e dois reagentes Policontrol[®], que por serem patenteados não possuem sua composição divulgada. O procedimento consiste em adicionar 3 gotas do reagente 1, que é uma solução tampão, e 1 gota do reagente 2, que é um composto capaz de reagir com o cloro, em uma cubeta. Posteriormente coloca-se 6 mL de amostra de água nesta cubeta e mistura-se para homogeneizar. Utiliza-se também uma amostra sem a adição dos reagentes como branco. Em seguida, para realizar a leitura do cloro livre, devem-se inserir as cubetas nos compartimentos apropriados do equipamento e girar até encontrar a cor coincidente com a cor desenvolvida.

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A técnica de análise estatística utilizada para a comparação entre os tratamentos foi a ANAVA, utilizando o teste de Scott-Knott, com o auxílio do *software* R. Para esta análise os tratamentos foram considerados como sendo os pontos de coleta das amostras de água com isso foi possível verificar se cada parâmetro avaliado na água apresentou mudanças significativas de um ponto de coleta para outro.

Foram realizadas também análises de regressão nos casos em que a ANAVA apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Para variáveis que não atenderam os pressupostos da análise de variância, como normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias entre os tratamentos, foi realizada uma transformação nos dados, conforme o método de Box-Cox (1964).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

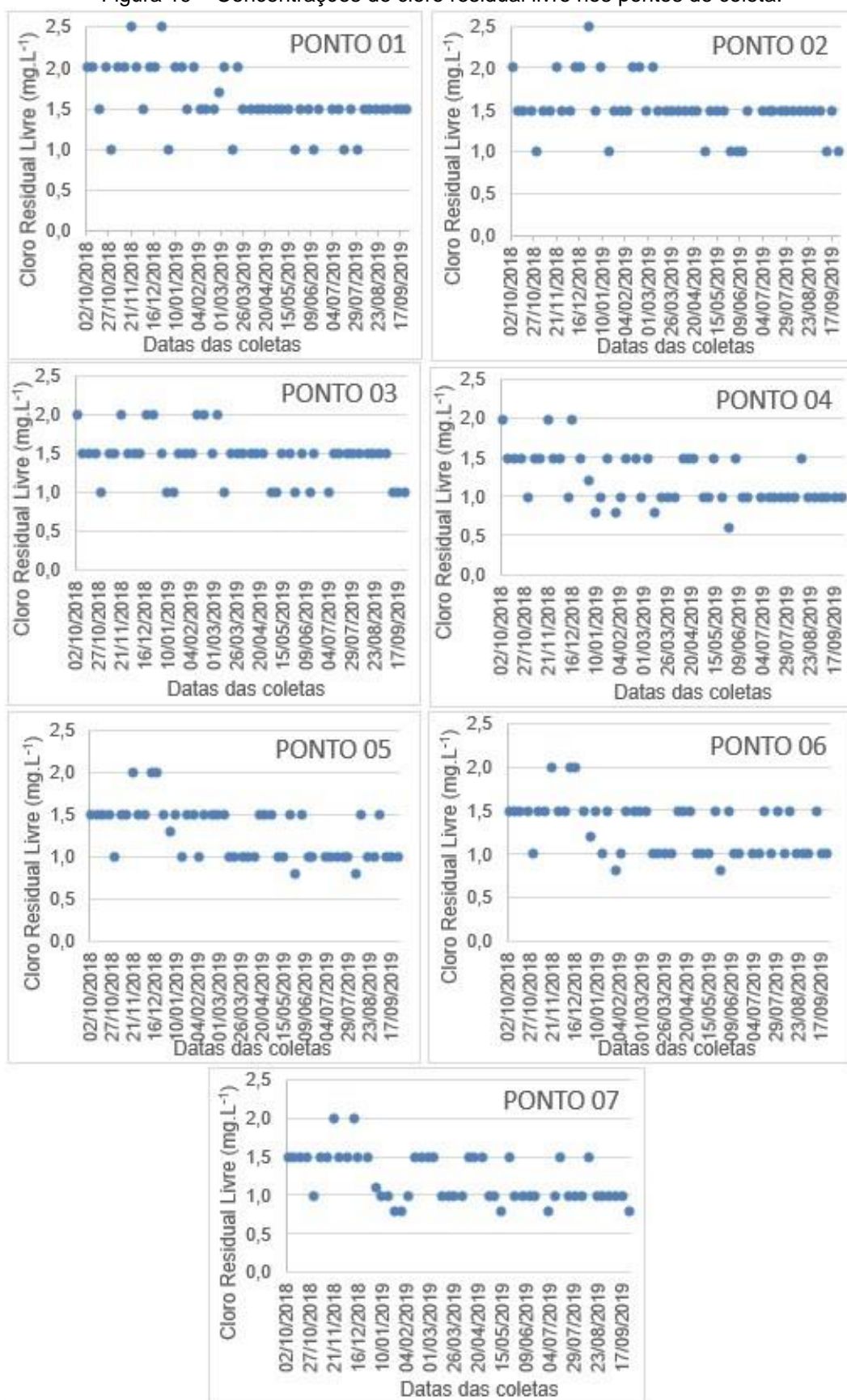
Após as amostragens semanais, foram obtidos dados de concentração de cloro residual livre, turbidez, cor aparente e presença ou ausência de coliformes totais.

Os resultados do presente trabalho foram negativos quanto à presença de Coliformes Totais em todos os pontos de amostragem e durante todo o período de coleta, o que está em conformidade com o Anexo XX da Portaria nº5 de Consolidação do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

5.2 RESULTADOS DE CONCENTRAÇÃO DE CLORO RESIDUAL LIVRE

A Figura 19 ilustra os resultados obtidos de concentração de cloro residual livre durante o período de coleta em cada ponto, respectivamente.

Figura 19 – Concentrações de cloro residual livre nos pontos de coleta.



Fonte: A autora (2020).

O ponto 01 apresentou a maior média entre os pontos analisados, no valor de $1,602 \text{ mg.L}^{-1}$. Acredita-se que este fato é devido ao ponto localizar-se próximo a saída do reservatório 01 e das ETA. Neste ponto as concentrações variaram de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ a $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$, apresentando desvio padrão de $0,361 \text{ mg.L}^{-1}$.

O ponto 02 apresentou a segunda maior média entre os pontos analisados, no valor de $1,520 \text{ mg.L}^{-1}$. Acredita-se que este fato também é devido à sua proximidade ao reservatório nº 02, que recebe água tratada diretamente do reservatório 01. Neste ponto as concentrações também variaram de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ a $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$, apresentando desvio padrão de $0,316 \text{ mg.L}^{-1}$.

O ponto 03 apresentou a terceira maior média entre os sete pontos analisados, no valor de $1,451 \text{ mg.L}^{-1}$. Acredita-se que este fato também é devido o ponto de coleta localizar-se próximo a saída do reservatório nº 02, o qual recebeu água tratada do reservatório nº 01 e permaneceu um tempo armazenada, até ser distribuída. Neste ponto as concentrações variaram de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ a $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$, apresentando desvio padrão de $0,304 \text{ mg.L}^{-1}$.

Apesar de ser o ponto da rede de distribuição mais próximo ao reservatório nº 01, o ponto 04 apresentou a sexta maior média entre os sete pontos analisados, no valor de $1,220 \text{ mg.L}^{-1}$. Acredita-se que este fato é devido a rede de distribuição ser de FD em grande parte da sua extensão, com idade maior que trinta anos, operando além da sua vida útil, e também por receber uma pequena vazão devido ser abastecido por uma zona que fornece água ao bairro Jardim América. Neste ponto as concentrações variaram de $0,6 \text{ mg.L}^{-1}$ a $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$, apresentando desvio padrão de $0,327 \text{ mg.L}^{-1}$.

O ponto 05 apresentou a quinta maior média entre os sete pontos analisados, no valor de $1,282 \text{ mg.L}^{-1}$. Neste ponto as concentrações variaram de $0,8 \text{ mg.L}^{-1}$ a $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$, apresentando desvio padrão de $0,312 \text{ mg.L}^{-1}$. O ponto 06 apresentou a quarta maior média entre os sete pontos analisados, no valor de $1,290 \text{ mg.L}^{-1}$. Neste ponto as concentrações variaram de $0,8 \text{ mg.L}^{-1}$ a $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$, apresentando desvio padrão de $0,311 \text{ mg.L}^{-1}$.

A menor média entre os sete pontos analisados foi obtida no ponto 07, no valor de $1,218 \text{ mg.L}^{-1}$. Acredita-se que este fato é devido à grande extensão da rede de distribuição que interliga o reservatório 01 a este ponto. Neste ponto as

concentrações variaram de 0,8 mg.L⁻¹ a 2,0 mg.L⁻¹, apresentando desvio padrão de 0,310 mg.L⁻¹.

A tabela 01 apresenta um resumo dos sete pontos analisados. Pode ser observado que os valores de concentração de cloro residual livre obtidos nas amostras coletadas variaram de 0,60 mg.L⁻¹ a 2,5 mg.L⁻¹. O desvio padrão calculado para os resultados obtidos em cada amostra variou de 0,30 mg.L⁻¹ a 0,36 mg.L⁻¹, apresentando pequena variação.

TABELA 1 – Resumo dos dados coletados da concentração de cloro residual livre (mg.L⁻¹).

Parâmetro	Bairro	Ponto	Média	Desvio Padrão	Valor máximo	Valor mínimo
Cloro Residual Livre	Jardim Carvalho	P01	1,602	0,361	2,5	1,0
	Boa Vista	P02	1,520	0,316	2,5	1,0
	Boa Vista	P03	1,451	0,304	2,0	1,0
	Ronda	P04	1,220	0,327	2,0	0,6
	Contorno	P05	1,282	0,312	2,0	0,8
	Parque do Café	P06	1,290	0,311	2,0	0,8
	Cristo Rei	P07	1,218	0,310	2,0	0,8

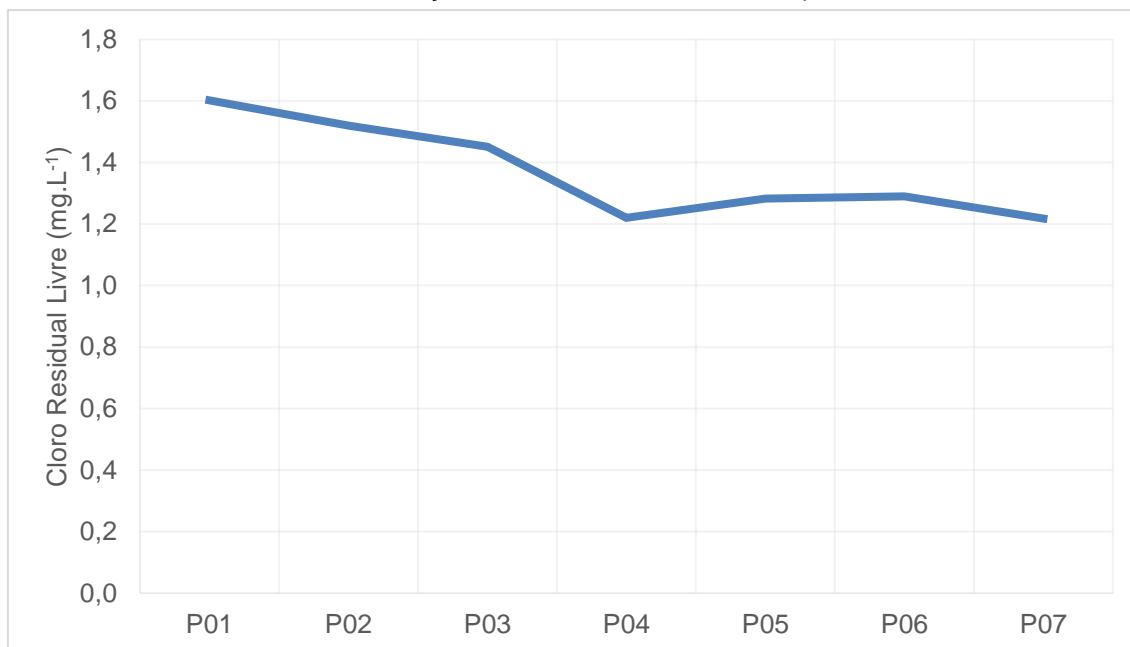
FONTE: A autora (2020).

De modo análogo às pesquisas elaboradas por Scuracchio (2010) e por dos Santos *et al.* (2018), que analisaram a qualidade da água em redes de distribuição, os resultados obtidos referentes à concentração de cloro residual livre na rede de distribuição foram satisfatórios, pois todas as amostras respeitaram o valor mínimo de concentração de cloro residual livre de 0,2 mg.L⁻¹ no sistema de distribuição. Três das 357 amostras apresentaram concentração de cloro residual livre de 2,5 mg.L⁻¹ nos pontos de coleta 01 e 02, desrespeitando a concentração máxima recomendada pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de no máximo 2,0 mg.L⁻¹ em qualquer ponto do sistema de abastecimento. Acredita-se que este fato ocorreu devido os pontos 01 e 02 localizarem-se próximos aos reservatórios e ao local de aplicação de cloro. Porém, ainda assim essa concentração não apresenta risco a saúde, pois é menor que 5,0 mg.L⁻¹, conforme disposto no anexo 7 do anexo XX desta Portaria, que estabelece o padrão de potabilidade para substâncias químicas.

O Gráfico 1 apresenta as médias das concentrações de cloro residual livre dos sete pontos, obtidas durante as 51 semanas analisadas. É possível visualizar, de forma geral, que a concentração de cloro residual livre diminuiu de forma

relativamente linear, apresentando maiores concentrações médias nos pontos próximos aos reservatórios e concentrações menores nos pontos localizados ao longo da rede de distribuição.

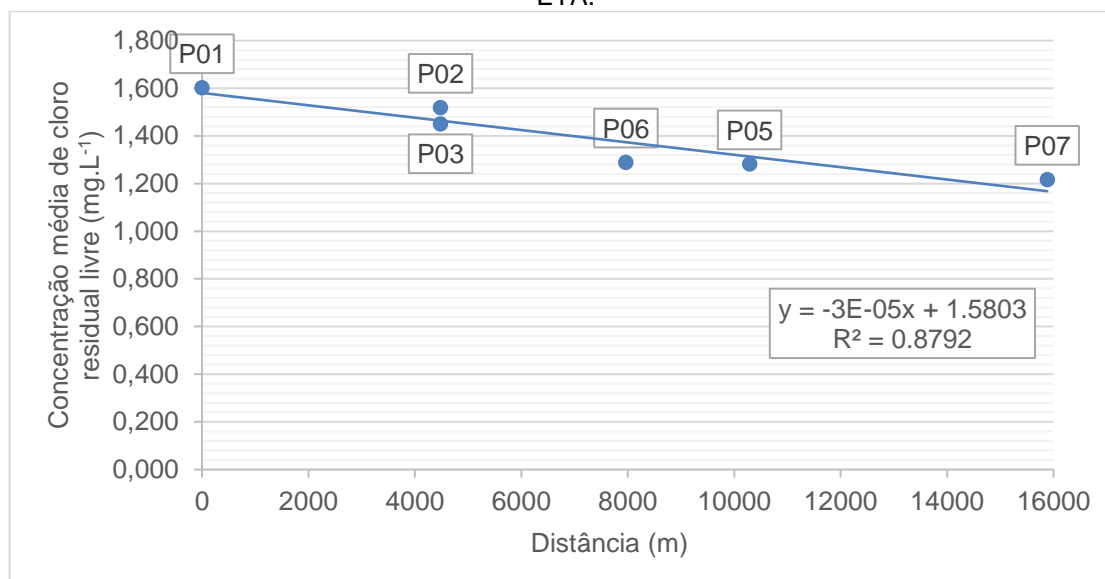
GRÁFICO 1 – Médias de concentrações de cloro residual livre nos pontos estudados.



FONTE: A autora (2020).

Segundo o Gráfico 1, pode-se observar que o ponto 04 distingue dos demais por localizar-se próximo a ETA e apresentar uma pequena concentração de cloro. Esse fato pode ser justificado devido à idade da tubulação ser maior que trinta anos, e também por receber uma pequena vazão da zona de abastecimento que fornece água ao bairro Jardim América. Dessa forma, o Gráfico 2 apresenta as médias das concentrações de cloro residual livre obtidas em cada ponto, exceto o ponto 04, e as respectivas distâncias da ETA, onde é realizada a aplicação do cloro na etapa de desinfecção.

GRÁFICO 2 – Concentrações médias de cloro residual livre nos pontos x distâncias dos pontos à ETA.



FONTE: A autora (2020).

Ajustando o modelo de regressão linear pode-se afirmar através do coeficiente de determinação (R^2) que o modelo linear utilizado consegue explicar cerca de 87,92% dos valores observados. De modo análogo aos trabalhos de Galdino (2009) e de Araújo (2010), pode-se observar pelo respectivo gráfico que há uma redução da concentração de cloro residual livre com o distanciamento dos pontos de coleta de amostras analisados.

Pelo modelo linear ajustado pode-se dizer que para cada metro de distância que aumenta em relação a ETA, tem-se uma redução na concentração de cloro residual livre de $0,00003 \text{ mg.L}^{-1}$. Este fato pode ser justificado devido às reações do cloro residual livre com substâncias orgânicas ao longo das tubulações, a existência de biofilmes, além do processo de corrosão nas paredes das tubulações de ferro fundido (SALGADO, 2008).

5.2.1 Análise de variância para cloro residual livre

Foram testadas as médias dos 7 pontos de coleta e a análise de variância apresentou um p-valor de $4,63.10^{-12}$, indicando que existe diferença significativa na concentração de cloro residual livre entre esses pontos. A tabela 2 a seguir apresenta o resultado do teste de médias.

TABELA 2 – Resultado teste de Scott-Knott para o parâmetro cloro residual livre (mg.L⁻¹).

Tratamentos	Grupos	Média
P07	b	1,218
P04	b	1,220
P05	b	1,282
P06	b	1,290
P03	a	1,451
P02	a	1,520
P01	a	1,602

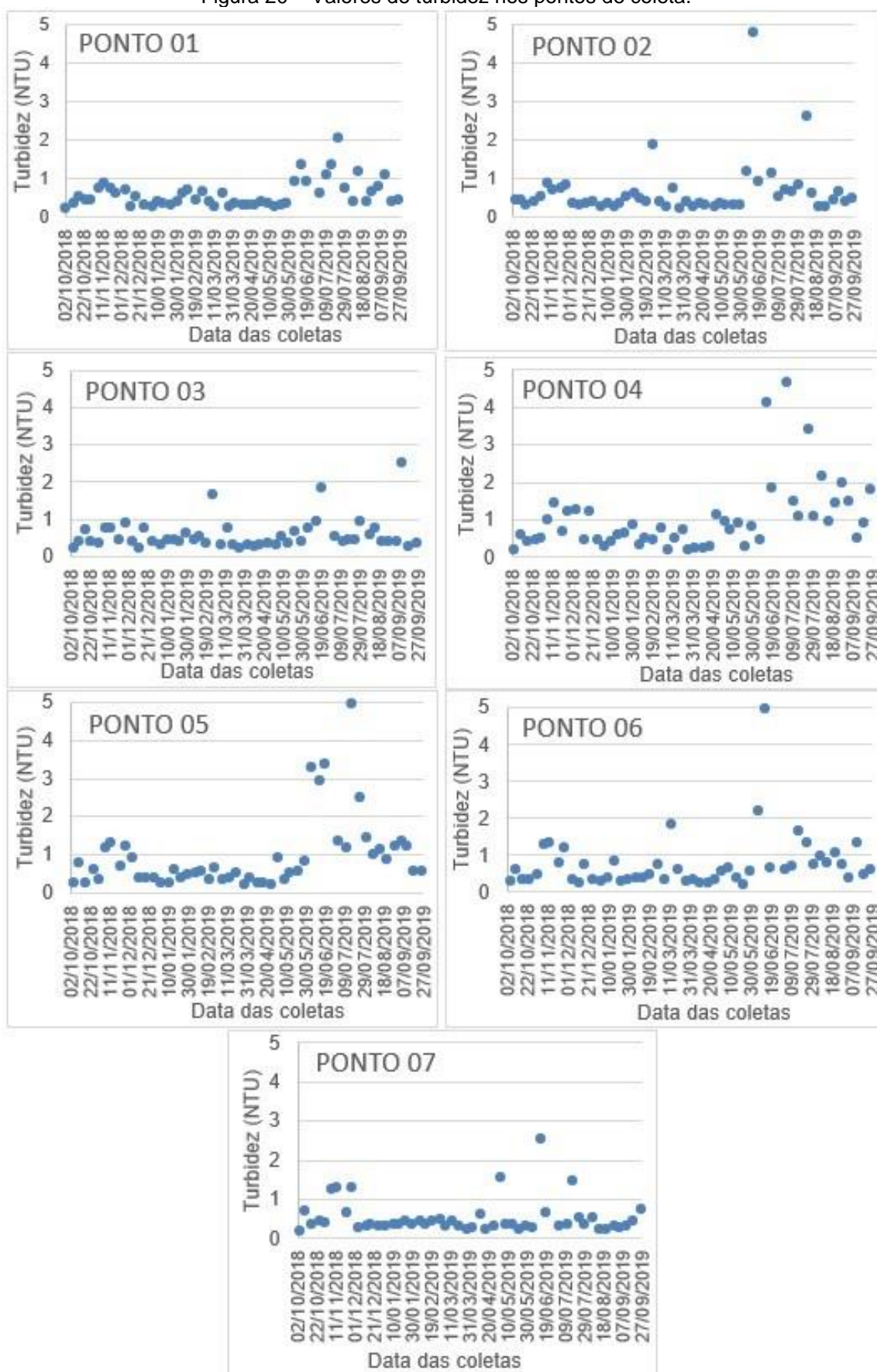
FONTE: A autora (2020).

O teste de Scott-Knott forma grupos com os pontos de coleta que possuem média de cloro residual livre semelhantes. Dessa forma, pode-se afirmar que, em média, as concentrações de cloro residual livre obtidas nos pontos 01, 02 e 03 são estatisticamente iguais e superiores às concentrações obtidas nos pontos 04, 05, 06 e 07, sendo esses últimos também considerados estatisticamente iguais. Uma possível justificativa a este fato é devido os pontos 01, 02 e 03 localizarem-se na saída do reservatório da ETA, na entrada e na saída do reservatório Los Angeles, respectivamente, e os pontos 04, 05, 06 e 07 situarem-se em pontos da rede de distribuição.

5.3 RESULTADOS DE TURBIDEZ

A Figura 20 ilustra os resultados obtidos de turbidez durante as datas de coleta em cada ponto, respectivamente.

Figura 20 – Valores de turbidez nos pontos de coleta.



Fonte: A autora (2020).

De acordo com a Figura 20, a maior média de turbidez entre os pontos analisados foi obtida no ponto 04, de 1,016 NTU. Acredita-se que este fato é devido a rede de distribuição ser de FD em grande parte da sua extensão, com idade maior que trinta anos, operando além da sua vida útil, podendo ocasionar um aumento da turbidez devido a processos de incrustação e corrosão no interior da tubulação.

De modo geral, pode ser observado que os valores de turbidez nas amostras coletadas variaram de 0,2 a 5 NTU. O desvio padrão calculado para os resultados obtidos em cada ponto variou de 0,351 NTU a 0,938 NTU, conforme apresentado na Tabela 3. Apesar dos altos valores de turbidez da água bruta, nenhuma amostra de água tratada apresentou valor de turbidez maior que o permitido pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (Brasil, 2017).

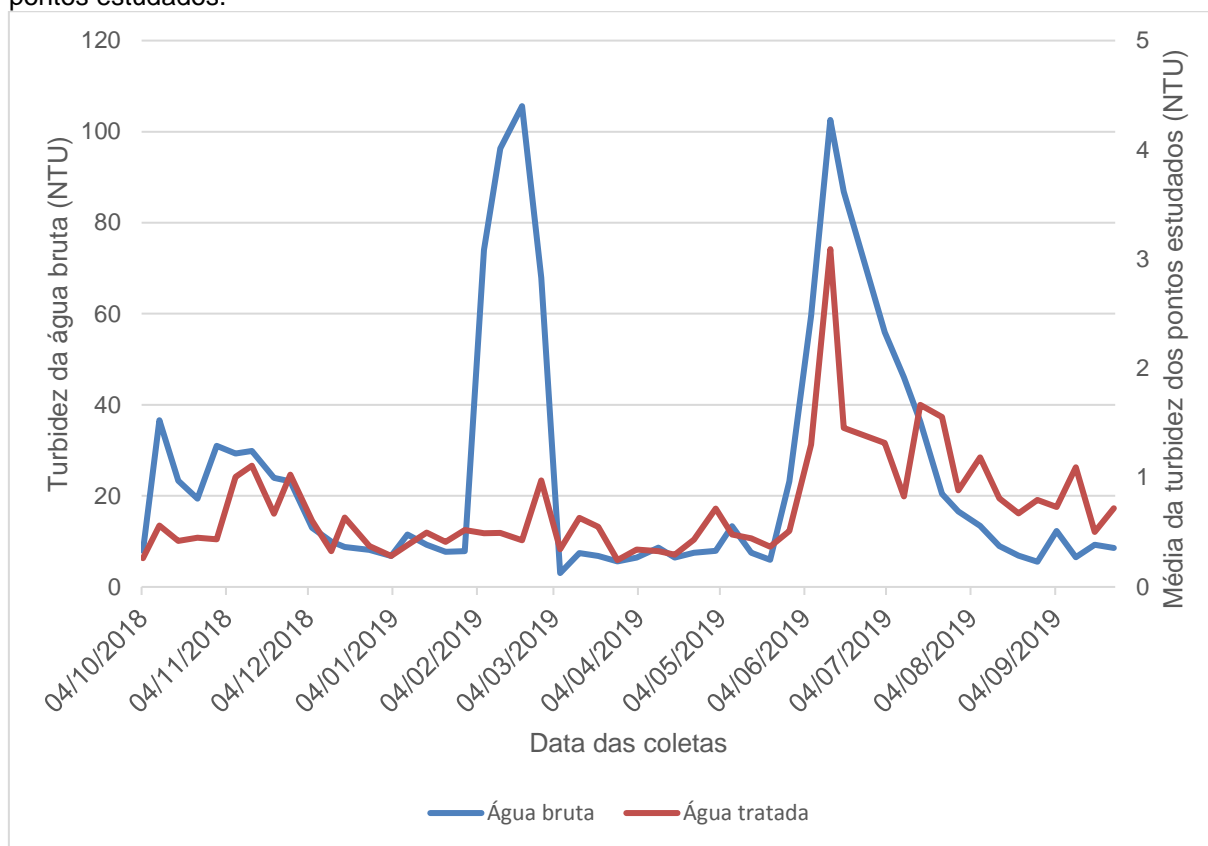
TABELA 3 – Resumo dos dados coletados de turbidez (NTU).

Parâmetro	Bairro	Ponto	Média	Desvio Padrão	Valor máximo	Valor mínimo
Turbidez	Jardim Carvalho	P01	0,599	0,351	2,03	0,22
	Boa Vista	P02	0,648	0,720	4,77	0,23
	Boa Vista	P03	0,567	0,415	2,51	0,20
	Ronda	P04	1,016	0,925	4,68	0,20
	Contorno	P05	0,927	0,938	4,96	0,22
	Parque do Café	P06	0,755	0,747	5,00	0,20
	Cristo Rei	P07	0,523	0,425	2,50	0,20

FONTE: A autora (2020).

O Gráfico 3 apresenta os dados de turbidez da água bruta dos dias anteriores ao das realizações das coletas, já que as coletas foram realizadas no período da manhã; e a média obtida dos sete pontos em cada data de coleta.

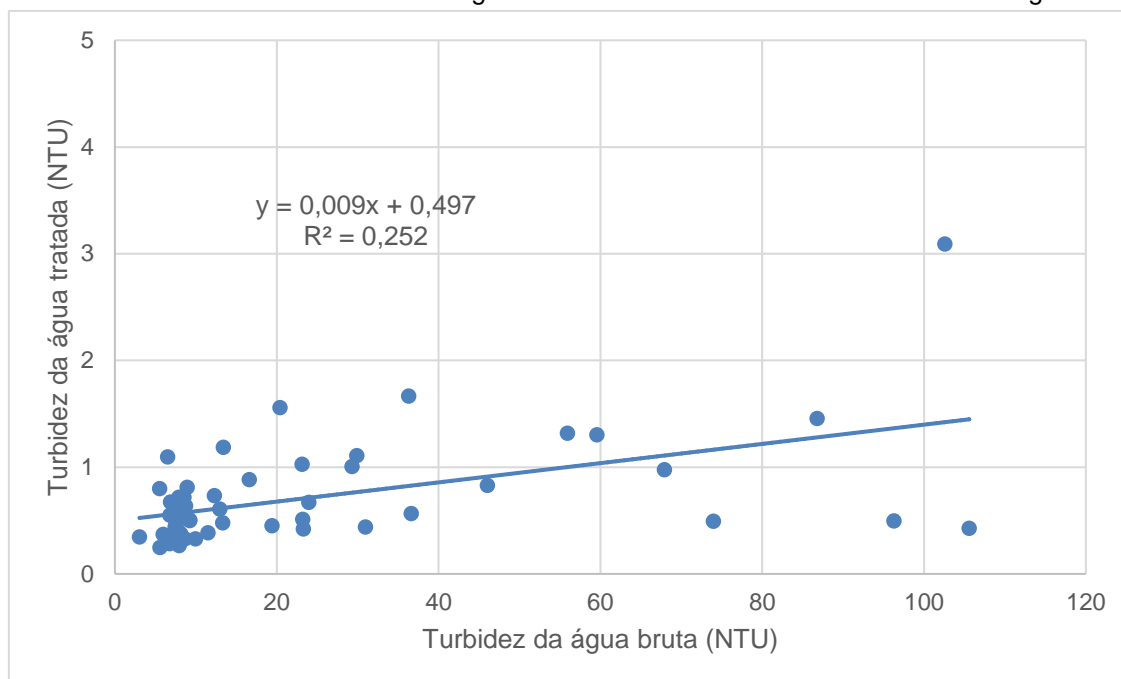
GRÁFICO 3 – Valores de turbidez da água bruta e média dos valores de turbidez da água tratada nos pontos estudados.



FONTE: A autora (2020).

O coeficiente de correlação (R) entre a turbidez da água bruta e da água tratada foi de 0,502, apontando que há uma correlação de moderada a baixa. No Gráfico 3 pode-se observar que existem dois picos de turbidez para a água bruta, um iniciando-se no dia 06/02/2019 e outro no dia 06/06/2019, mas a turbidez da água tratada acompanha somente o pico do dia 06/06/2019, não ultrapassando o valor máximo admissível pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

GRÁFICO 4 – Valores de turbidez da água bruta e média dos valores de turbidez da água tratada



FONTE: A autora (2020).

O Gráfico 4 mostra que, apesar de apresentar um baixo ajuste com R^2 igual a 0,252, há uma tendência de que quanto maior for a turbidez da água bruta, maior será também a turbidez da água tratada. O coeficiente de variação de turbidez foi de 111% para água bruta e 68% para água tratada, indicando que a variabilidade da turbidez da água bruta é muito maior que a da água tratada. Independente dos valores da turbidez da água bruta, a água tratada na saída da ETA variou de 0,20 a 5 NTU, que confirma a eficiência do sistema de tratamento da água na remoção de turbidez.

5.3.1 Análise de variância para turbidez

Foi realizada a análise de variância para testar a média obtida dos valores de turbidez nos sete pontos. Como os dados não atenderam os pressupostos da análise de variância, foi necessário a transformação dos mesmos utilizando o método de Box-Cox.

A análise de variância apresentou um p-valor de $9,51 \cdot 10^{-4}$, indicando que existe diferença significativa na turbidez entre esses pontos. A Tabela 4 a seguir apresenta o resultado do teste de médias.

TABELA 4 – Resultado do teste de Scott-Knott para o parâmetro turbidez.

TRATAMENTOS	GRUPOS	MÉDIAS
P07	b	0,523
P03	b	0,567
P01	b	0,599
P02	b	0,648
P06	a	0,755
P05	a	0,927
P04	a	1,016

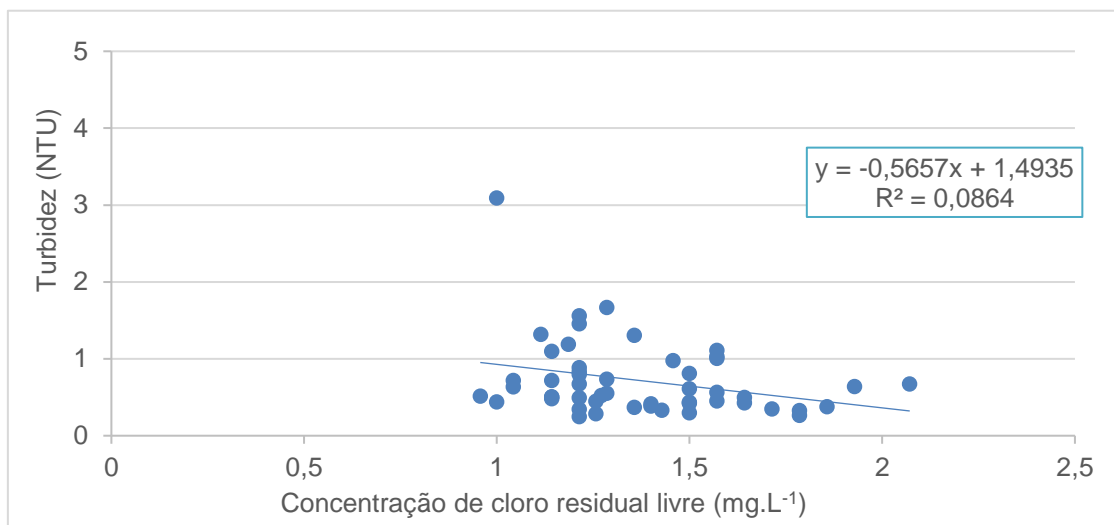
FONTE: A autora (2020).

Os resultados do teste de Scott-Knott apresentaram dois grupos distintos. Sendo assim, pode-se afirmar que, em média, os valores de turbidez da água nos pontos 01, 02, 03 e 07 são estatisticamente iguais e inferiores aos valores encontrados nos pontos 04, 05 e 06, que também podem ser considerados estatisticamente iguais. Este fato pode ser justificado devido o primeiro grupo localizar-se em redes de distribuições mais novas, que foram implantadas recentemente, com cerca de 10 anos de uso, e o segundo grupo localizar-se em redes com idade entre 30 a 40 anos, que estão operando além da vida útil, e que possivelmente apresentam processos internos de incrustação e corrosão, que acarretam em um aumento da turbidez (SARZEDAS, 2009). Segundo a SANEPAR, estas redes estão programadas para serem substituídas até o final do ano de 2020.

5.4 RELAÇÃO DOS PARÂMETROS CONCENTRAÇÃO DE CLORO RESIDUAL LIVRE E TURBIDEZ

O Gráfico 5 apresenta os valores médios de turbidez dos pontos estudados, e as respectivas médias das concentrações de cloro residual livre nos sete pontos, em cada data de coleta. O coeficiente de correlação (R) é negativo, -0,294, indicando que, apesar de baixo, são duas variáveis inversamente proporcionais. Este gráfico também mostra que segundo o modelo linear, apesar de apresentar um baixo ajuste com $R^2 = 0,0864$, para cada unidade de concentração de cloro residual livre que diminui, há um aumento na turbidez de 0,5657 NTU no sistema de distribuição estudado.

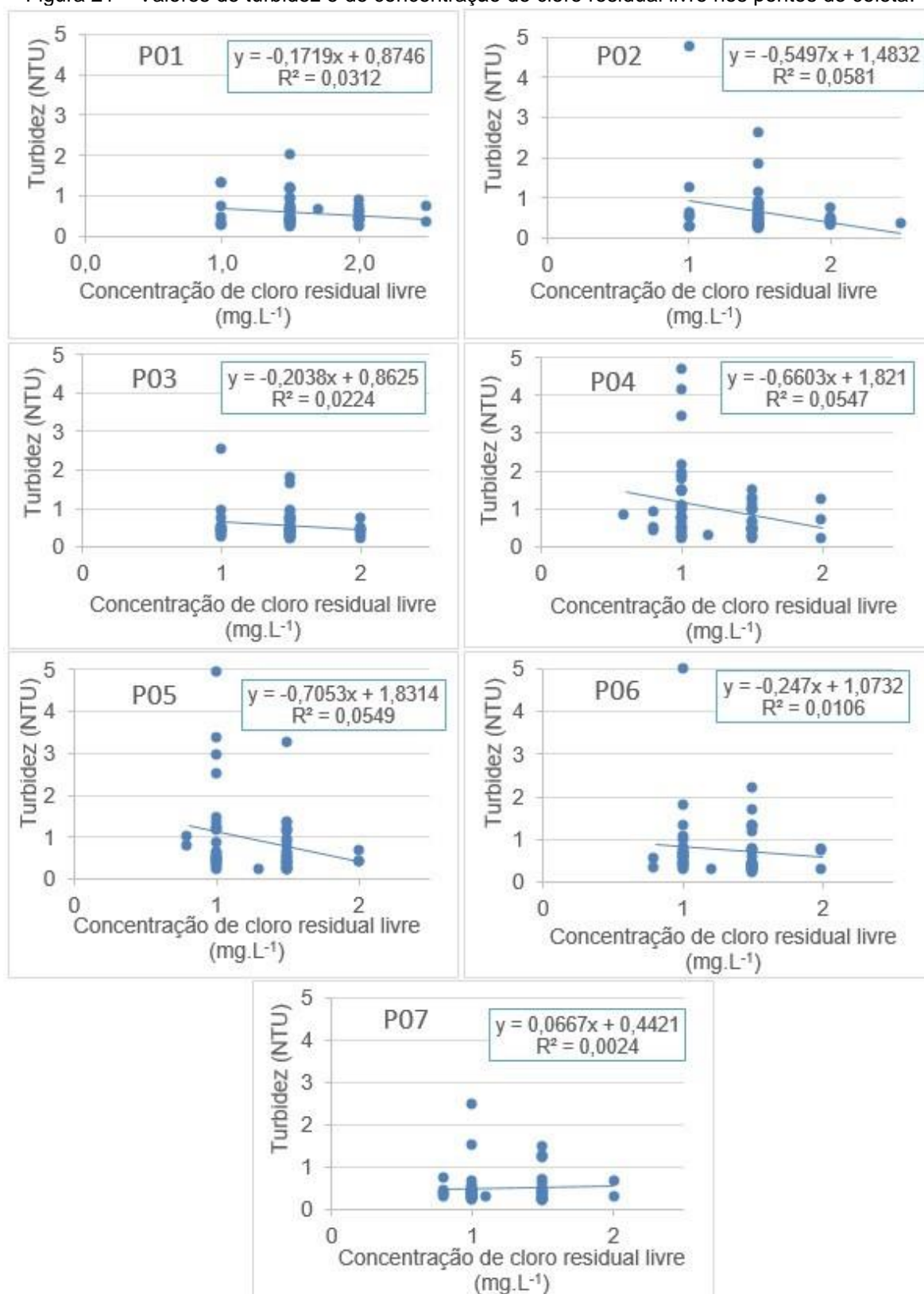
GRÁFICO 5 – Valores médios de turbidez dos pontos estudados x valores médios de concentrações de cloro residual livre em cada ponto.



FONTE: A autora (2020).

A Figura 21 apresenta os valores de turbidez e as respectivas concentrações de cloro residual livre nos pontos analisados.

Figura 21 – Valores de turbidez e de concentração de cloro residual livre nos pontos de coleta.



FONTE: A autora (2020).

A Figura 21 mostra que, nos pontos 01 ao 06, o coeficiente de correlação é negativo, e que apesar de apresentar um baixo ajuste com R^2 variando de 0,0106 a 0,0581, segundo o modelo linear, para cada unidade de concentração de cloro residual livre que diminui, há um aumento na turbidez de 0,1719 a 0,7053.

No ponto 07 o coeficiente de correlação é positivo, igual a 0,049. O ajuste do modelo linear é baixo, R^2 igual a 0,0024, e ao contrário dos outros pontos, este mostra que segundo o modelo linear, para cada unidade de concentração de cloro residual livre que diminui, há uma diminuição na turbidez de 0,0667 NTU no ponto estudado. Este ponto possui a particularidade que, apesar de longe das ETAs, a rede que o abastece é formada por tubulações novas, com aproximadamente 10 anos de uso. Dessa forma, acredita-se que esta rede não apresenta material depositado e processos de corrosão e incrustação que ocasionem um aumento da turbidez da água tratada.

Segundo Galdino (2009), a manutenção de cloro residual livre na rede de distribuição de água é mais favorável em condições de turbidez baixas. Os resultados obtidos nos pontos 02, 04 e 05 demonstraram que a concentração de cloro residual livre apresentou valor próximo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ quando a turbidez se aproximou de 5,0 NTU, confirmando a teoria de que há maior consumo de cloro quando a turbidez da água é mais elevada (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Utilizando as análises estatísticas de regressão linear pode-se afirmar através do R^2 , que o modelo linear não é adequado em todos os pontos estudados. De acordo com a pesquisa realizada por Soares *et al.* (2016), este fato pode ser justificado devido o equipamento utilizado na análise da concentração de cloro residual livre, que emprega o disco colorimétrico, baseado na comparação visual do manuseador como método de análise, com lentes em escala de cores.

O estudo de Soares *et al.* (2016) concluiu que houve uma correlação entre a turbidez e as leituras de cloro residual livre, quando as análises de cloro foram realizadas com o equipamento digital, independente do reagente utilizado, sendo que o mesmo não ocorreu com a turbidez e as leituras de cloro residual livre realizadas com o disco colorimétrico, concordando com os dados obtidos no presente estudo.

5.5 RESULTADOS DE COR APARENTE

Conforme apresentado na Tabela 5, pode ser observado que os valores de cor aparente nas amostras coletadas variaram de 2,5 a 12,5 unidades Hazen (uH). O desvio padrão calculado para os resultados obtidos em cada amostra variou de 0,35 uH a 1,47 uH.

TABELA 5 – Resumo dos dados coletados de cor aparente (uH).

Parâmetro	Bairro	Ponto	Média	Desvio Padrão	Valor máximo	Valor mínimo
Cor Aparente	Jardim Carvalho	P01	2,5	0,350	5,0	2,5
	Boa Vista	P02	2,8	1,470	12,5	2,5
	Boa Vista	P03	2,6	0,351	5,0	2,5
	Ronda	P04	2,9	1,358	10,0	2,5
	Contorno	P05	2,9	1,447	10,0	2,5
	Parque do Café	P06	2,7	0,843	7,5	2,5
	Cristo Rei	P07	2,5	0,350	5,0	2,5

FONTE: A autora (2020).

De maneira semelhante à pesquisa realizada por dos Santos *et al.* (2018), todas as amostras apresentaram valores de cor aparente menores que o valor máximo estabelecido de 15 uH pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

Houve uma mudança nos valores de cor aparente nas amostras obtidas após o mês de junho de 2019, isso pode ser atribuído à mudança do laboratorista responsável pela análise das amostras, já que o procedimento emprega a comparação visual como método de análise, com lentes em escala de cores.

5.5.1 Análise de variância para cor

Foi realizada a análise de variância para testar a média obtida dos valores de cor aparente nos sete pontos. A Tabela 6 apresenta o resultado de cor aparente média para cada ponto de coleta.

TABELA 6 – Resultado teste de Scott-Knott para o parâmetro cor aparente (uH).

TRATAMENTOS	MÉDIAS
P01	2,549
P07	2,549
P03	2,553
P06	2,696
P02	2,794
P04	2,892
P05	2,892

FONTE: A autora (2020).

De acordo com o teste, utilizando um nível de significância de 5%, pode-se afirmar que não há diferença significativa nos valores de cor aparente encontrados nos pontos estudados. Devido a isso não foram realizadas as demais análises, como feito nas outras variáveis estudadas, pois isso indica que independente de qualquer outra variável a cor aparente média da água se manteve a mesma em todos os pontos analisados.

6 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos verificou-se que os parâmetros de qualidade da água analisados nos pontos de coleta monitorados atendem a Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 28 de setembro de 2017. É importante ressaltar que as coletas foram realizadas próximo ao hidrômetro, sem interferência de reservas individuais e em pontos de responsabilidade da concessionária.

De acordo com a análise de variância aplicada para o parâmetro cloro residual livre, pode-se concluir que há uma redução na concentração de cloro residual livre proporcionalmente ao longo do sistema de distribuição a medida que os pontos se distanciam das ETAs, com as menores concentrações obtidas no ponto 07, localizado à aproximadamente 16 km da ETA.

Quanto à turbidez, de acordo com a análise de variância, pode-se concluir que há uma tendência da turbidez aumentar ao longo do sistema de distribuição em locais onde a rede é de FD e com idade próxima a atingir sua vida útil. Também foi encontrada uma tendência de que a turbidez da água bruta influencia na turbidez da água tratada, apesar deste fato ter ocorrido apenas uma vez, em que a turbidez da água bruta se manteve elevada por mais de três semanas. Este fato reflete a importância da preservação dos mananciais e da avaliação das características da água bruta em termos de tratabilidade, pois as características da mesma influenciam a qualidade da água para consumo humano.

Os resultados obtidos demonstraram que a concentração de cloro residual livre apresentou valor próximo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ quando a turbidez se aproximou de 5,0 NTU nos mesmos pontos em que a correlação foi melhor (pontos 02, 04 e 05), que confirmam a teoria de que há maior consumo de cloro quando a turbidez da água é mais elevada (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Em relação a cor aparente as análises mostraram que esta não apresentou alterações significativas entre os pontos estudados, não aparentando ter alguma relação com o cloro residual livre. As análises de cor aparente que utilizam equipamento de comparação visual como método de análise, com lentes em escala de cores, são influenciados diretamente pelo laboratorista.

As dificuldades encontradas para conclusões mais precisas a respeito das correlações da concentração de cloro residual livre se dão pela falta de informação de consumo de água próximo aos pontos coletados e ao equipamento utilizado pelo técnico responsável das coletas, que emprega o disco colorimétrico que é baseado na comparação visual como método de análise, com lentes em escala de cores. A utilização do método visual é mais prático para ser aplicado em campo, porém é um método menos preciso por sofrer mais interferências, bem como, erros do manuseador. Outro fator que influi diretamente na utilização do disco colorimétrico é a luminosidade e a aproximação entre o manuseador e o disco, que pode variar da percepção de cada indivíduo.

Como sugestão para trabalhos futuros relacionados ao tema, sugere-se que as análises de cloro residual livre sejam realizadas com equipamento que realize leituras digitais, e que seja elaborada uma pesquisa de campo em rede de abastecimento de água com acessórios e parâmetros operacionais conhecidos para possibilitar a comparação com um modelo matemático desenvolvido com base nestes dados, já que no período de desenvolvimento do presente trabalho o setor estudado encontrava-se em obras de ampliação na rede de distribuição.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. C. S. P. **Indicadores de vigilância da qualidade da água de abastecimento da cidade de Areia (PB)**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.
- ALVES, A.; PINTO, B. Economia da Água do Plano Nacional da Água. Instituto da Água. Ministério da Cidade. Ordenamento do Território e Ambiente. Lisboa, 2004.
- ALVES, C. **Tratamento de Águas de Abastecimento**, 3ª ed., Porto: Publindústria, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626: Instalação predial de água fria**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. 4ª ed. Jaboticabal: Funep, 2006.
- BARROSO, L. B.; WOLFF, D. B. Radiação ultravioleta para desinfecção de água. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v.10, n.1, p. 1-13, 2009.
- BIONDO, F. D. **Decaimento de cloro na rede de distribuição**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação, nº 5 de 28 de setembro de 2017. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF de 12/12/2011. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html. Acesso em 22/08/2018.
- BOX, G. E. P.; COX, D. R. An Analysis of Transformations, **Journal of the Royal Statistical Society**. Series B (Methodological), v. 26, nº.2, p. 211-252, 1964.
- CASTRO, I. L. R. **Elaboração de Ferramentas para Avaliar a Eficiência de Tratamento de uma ETA: ETA de S. Jorge**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade de Trás Dos Montes e Alto Douro, Vila Real, 2015.
- DEBORDE, M.; VON GUNTEN, U. Reactions of chlorine with inorganic and organic compounds during water treatment – kinetics and mechanisms: a critical review. **Water Research**, Amsterdã, v. 42, n. 1-2, p. 13-51, 2008.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2 ed. São Carlos: RIMA, p. 1566, 2005.
- DOS SANTOS, S.M. *et al.* Qualidade da água na rede de distribuição da Universidade Estadual de Maringá. **Cadernos Zygmunt Bauman**, Maringá, v. 8, n. 18, p. 252-266, 2018.

FISHER, I.; KASTL, G; SATHASIVAN, A. Evaluation of suitable chlorine bulk-decay models for water distribution systems. **Water Research**, Amsterdã, v. 45, n. 16, p. 2896 – 4908, 2011.

GALDINO, F. A. G. **Indicadores sentinelas para a formulação de um plano de amostragem de vigilância da qualidade da água de abastecimento de Campina Grande (PB)**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

GOMES, A. R. **Monitoramento e avaliação da qualidade da água bruta da barragem Inhumas e sua influência na qualidade da água tratada**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2018.

HASS, C. N.; KARRA, S. B. Kinetics on wastewater chlorine demand exertion. **Journal WPCF 56**, p. 170-173, 1984.

HELLER, L.; PÁDUA, L. V. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, v.1 e 2, 2010.

JUNQUEIRA, R. F. **Modelagem matemática de cloro residual em redes de distribuição de água – estudo de caso no Jardim Higienópolis em Maringá – PR**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento da água**. 4. ed. Campinas, São Paulo: Átomo, 2016.

MELO, C. S. T. **Avaliação da qualidade da água da captação e do sistema de abastecimento de Fagilde, Viseu**. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, 2018.

NEVES, L. P.; SANTOS, M. T. **Estudo do decaimento de cloro em sistemas de abastecimento de água: Caso de Estudo Águas da Azambuja**. Orientadora: Maria Tereza Loureiro dos Santos. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química e Biológica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2016.

PIEREZAN, M. L. **Monitoramento contínuo do residual do cloro em sistema de distribuição de água para abastecimento**. 2009, 150f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

POWELL, J. C., *et al.* Performance of various kinetic models for chlorine decay. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Londres, v. 126, nº 1, p. 13-20, jan. 2000.

RAMOS, H. M.; LOUREIRO, D.; LOPES, S.; FERNANDES, C.; COVAS, D., REIS, L. F.; CUNHA, M. C. Evaluation of Chlorine Decay in Drinking Water Systems for Different Flow Conditions: From Theory to Practice. **Water Resources**, Lisboa, v. 24, p.815 – 834, jul./2009.

RIBEIRO, D. L. C. **Estudo de calibração da rede de distribuição de água de São Lourenço – MG. 2014.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

RIBEIRO, N. P. **Avaliação da qualidade da água em reservatório influenciada pelas diferentes configurações de saída.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2018.

RODRIGUES, D. G. **Sistema Alternativo para Desinfecção da Água por Pasteurização Solar para Pequenas Comunidades.** 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

RODRIGUES, M. F. S.; SCALIZE, P. S. Decaimento de cloro residual livre em águas distribuídas em redes de abastecimento. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 16366-16375, sep. 2019.

ROSSMAN, L. A.; CLARK, R. M.; GRAYMAN, W. M. Modeling chlorine residuals in drinking-water distribution systems. **J. Environ. Eng.** p. 803-820, 1994.

SALGADO, S. R. T. **Estudo dos parâmetros do decaimento do cloro residual em sistema de distribuição de água tratada considerando vazamento.** 2008, 145f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SAMIR, N.; KANSOH, R.; ELBARKI, W.; FLEIFLE, A. Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. **Alexandria Ennngineering Journal**, v. 56, p. 601-612, 2017.

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. SNS - Sistema Normativo da Sanepar. Instruções de Trabalho no Laboratório - IT/LAB. Ponta Grossa, 2018.

SANTOS, L. E. A. **Modelação do decaimento do cloro residual numa água superficial.** 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2018.

SARZEDAS, G. L. **Planejamento para a substituição de tubulações em sistemas de abastecimento de água.** Aplicação na rede de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**. Raleigh, v.30, n.3, p.507-512, Sept. 1974.

SCURACCHIO, P. A. **Qualidade da água utilizada para consumo em escolas no município de São Carlos – SP.** 2010. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2010.

SILVA, J. C.; PONTES, H. P.; BARBOSA, G. J. Sistema de abastecimento de água do município de Catalão-GO: Avaliação da turbidez, cloração e qualidade

basteteriológica. **Revista Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo, 2014, v. 73, n. 3, p. 280-286, set. 2014.

SIMAS, L.; GONÇALVES, P.; LOPES, J.; ALEXANDRE, C. **Controlo da qualidade da água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento**. Instituto Regulador de Águas e Resíduos, 2005.

SOARES, S. S. *et al.* Avaliação de métodos para determinação de cloro residual livre em águas de abastecimento público. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 37, n. 1, p. 119-130, jan./jun. 2016.

VIEIRA, P.; COELHO, S.T.; PRAÇA, P. Controle do residual de cloro em sistemas de transporte e distribuição de água. *In*: Encontro Nacional de Entidades Gestoras, 2011, Geneva. **Anais...** Guidelines for drinking-water quality, p. 1-20, 2001.

VIEIRA, P.; COELHO, S. T. Practical Conditions for the use of a first order chlorine decay model in water supply. *In*: Conference on Computing and Control for the Water Industry. 2003. p. 405-414.

VIEIRA P.; COELHO S.T.; LOUREIRO D. Accounting for the influence of initial chlorine concentration, TOC, iron and temperature when modeling chlorine decay in water supply. **Journal of Water Supply Research and Technology**, v.53, n.7, p.453-467, Nov, 2004.

TSUTIYA, M. T. Reservatório de distribuição de água: principais aspectos hidráulicos relacionados com a saída de água. *In*: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2., 1997, Foz do Iguaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1997. p. 12.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.